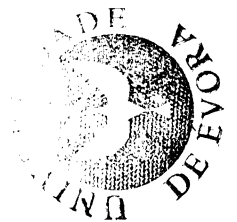


UNIVERSIDADE DE ÉVORA

Mestrado em Engenharia dos Recursos Hídricos

**Adaptação às Alterações Climáticas do Plano de
Contingência do Sistema Multimunicipal de
Abastecimento de Água do Algarve**



Autor:
Sandra Jesus Lopes Dias

Orientador:
Maria Madalena Moreira
Co-orientador:
Helena Maria Lucas

Évora, 2010

Título da dissertação: Adaptação às Alterações Climáticas do Plano de Contingência do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água do Algarve

Autor: Sandra Jesus Lopes Dias

Orientador: Maria Madalena Moreira

Co-orientador: Helena Maria Lucas

**Adaptação às Alterações Climáticas do Plano de Contingência do Sistema
Multimunicipal de Abastecimento de Água do Algarve**

RESUMO: Face ao aumento que se tem vindo a observar da população, especialmente a população flutuante, e a alteração nos hábitos de consumo de água, com destaque para os últimos 20 anos, a região do Algarve poderá enfrentar em anos secos um cenário onde a disponibilidade de recursos hídricos naturais seja reduzida face à procura.

Em 2005 foi desenvolvido um plano de contingência para o Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água do Algarve (SMAAA). O plano prevê a possibilidade de reactivação de antigas captações subterrâneas municipais para reforço do abastecimento público em situações de contingência nesta região.

A presente dissertação apresenta a avaliação dos principais impactos das projecções dos modelos de clima para o fim do século no SMAAA, nomeadamente ao nível da disponibilidade de água na origem e da procura de água para consumo humano, e a adaptação do plano de contingência face a esses impactos.

Adaptation of the Contingency Plan from the Algarve's Multimunicipal Bulk System face to the Climatic Changes

RESUME: Faced with a population increase, special one related with tourism, and also with changes in water consumption habits that has been occurring mostly in the last 20 years, the Algarve region in hydrologic dry years may face serious water shortage in a scenario where water resources are scarce. Being so, in 2005 a contingency plan was developed for the Algarve's Multimunicipal Bulk System (AMBS). The plan includes the possibility of reactivating old water capitations, to reinforce the water public distribution upon contingency situation in the region.

The present dissertation evaluates the main impacts of the climatic change forecasted by model projections throughout the end of the century on the AMBS, looking more specifically at the water availability and the water demand for public consumption, and the adaptation of the contingency plan to those impacts.

AGRADECIMENTOS

Desejo manifestar o meu sincero agradecimento à Professora Madalena Moreira e à Eng.^a Helena Lucas, minhas orientadora e co-orientadora científicas, pelo empenho na minha orientação ao longo da realização da presente dissertação, pelo incentivo e ensinamentos e pela disponibilidade que sempre demonstraram.

Ao Eng.º Manuel Victório, meu colega na empresa Águas do Algarve, S.A., pelos ensinamentos no programa de informação geográfica – Ginteraqua e à Eng.^a Sandra Mourato, professora no Instituto Politécnico de Leiria, por facultar as séries de precipitação e temperatura projectadas pelos modelos de clima para o fim do século XXI e produzidas no âmbito do projecto europeu PRUDENCE.

Adaptação às Alterações Climáticas do Plano de Contingência do Sistema

Multimunicipal de Abastecimento de Água do Algarve

Índice de Texto

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contexto Geral.....	1
1.2. Objectivos e Metodologia.....	5
1.3. Estrutura da Tese	6
2. SÍNTESE DE CONHECIMENTOS.....	8
3. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA MULTIMUNICIPAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO ALGARVE E DIAGNÓSTICO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA	15
3.1. Descrição do SMAAA.....	15
3.2. Variabilidade da Oferta Útil de Água.....	19
3.2.1. Descrição da oferta e da procura	19
3.2.2. Avaliação da disponibilidade hídrica superficial	24
3.2.2.1. Método e dados de entrada	24
3.2.2.2. Modelação dos caudais afluentes à albufeira da Bravura.....	29
3.2.2.3. Modelação dos caudais afluentes à albufeira do Funcho	31
3.2.2.4. Modelação dos caudais afluentes à albufeira de Odelouca	34
3.2.2.5. Modelação dos caudais afluentes às albufeiras de Odeleite e Beliche	36
3.2.3. Balanço hídrico das albufeiras	38
4. PLANO DE CONTINGÊNCIA DO SISTEMA MULTIMUNICIPAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO ALGARVE	42
5. IMPACTO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NO SISTEMA MULTIMUNICIPAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO ALGARVE E MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO	45
5.1. Introdução	45
5.2. Variabilidade da precipitação e temperatura nos últimos anos	45
5.3. Cenários Climáticos Futuros	47

5.4. Avaliação das Disponibilidades Hídricas Superficiais no Período Cenário (2071 a 2100)	50
5.5. Séries de Escoamento Geradas	61
5.5.1. Apresentação e análise de resultados	68
5.5.1.1. Estrutura correlacional.....	72
5.5.1.2. Geração de escoamentos anuais	74
5.5.1.3. Geração de escoamentos mensais.....	76
5.5.2. Comparação entre os escoamentos anuais gerados e os obtidos com as séries HC.adhfa	84
5.6. Estimativa do Aumento do Consumo de Água no SMAAA com o Aumento da Temperatura no Futuro	86
5.7. Medidas de Adaptação.....	93
6. CONCLUSÃO	95
6.1 Sumário e Recomendações.....	95
6.2 Perspectivas de Investigação Futura.....	97
BIBLIOGRAFIA	99
ANEXOS	105

Índice de Figuras

Figura 1 – Traçado do SMAAA e localização das origens de água superficiais.....	16
Figura 2 – Principais sistemas aquíferos do Algarve.....	20
Figura 3 – Evolução do número de reservatórios municipais abastecidos pelo SMAAA.	21
Figura 4 – Evolução do volume fornecido pelo SMAAA aos municípios.	21
Figura 5 – Variação do volume fornecido pelo SMAAA ao longo do ano, para os anos 2008 e 2009.....	22
Figura 6 – Distribuição do volume de água fornecido em 2009 pelo SMAAA aos municípios abrangidos.	23
Figura 7 – Esquema do funcionamento do Modelo Hidrológico Temez (Moreira, 2009).	25
Figura 8 – Bacias hidrográficas relativas às estações hidrométricas monitorizadas (fonte: Universidade do Algarve, 2009).	28
Figura 9 – Escoamento registado e calculado na estação da Bravura: a) Outubro de 1939 a Setembro de 1955; b) Outubro de 1955 a Setembro de 1969.	30
Figura 10 – Ano médio de escoamento calculado e registado na estação hidrométrica da Bravura.....	30
Figura 11 – Correlação entre o escoamento mensal médio calculado e o registado na estação hidrométrica da Bravura.....	31
Figura 12 – Escoamento registado e calculado na estação de Casa Queimada: a) Outubro de 1933 a Setembro de 1940; b) Outubro de 1940 a Setembro de 1952.	32
Figura 13- Ano médio de escoamento calculado e registado na estação hidrométrica de Casa Queimada.	33
Figura 14 - Correlação entre o escoamento mensal calculado e registado na estação hidrométrica de Casa Queimada.	33
Figura 15 - Escoamento registado e calculado na estação de Monte dos Pachecos: a) Outubro de 1961 a Setembro de 1969; b) Outubro de 1969 a Setembro de 1990.	34
Figura 16 – Ano médio de escoamento calculado e registado na estação hidrométrica de Monte dos Pachecos.....	35

Figura 17 – Correlação entre o escoamento mensal calculado e registado na estação hidrométrica de Monte dos Pachecos.	35
Figura 18 - Escoamento registado e calculado na estação de Monte dos Fortes: a) Outubro de 1960 a Setembro de 1980; b) Outubro de 1980 a Setembro de 2003.	36
Figura 19 – Ano médio de escoamento calculado registado na estação hidrométrica de Monte dos Fortes.....	37
Figura 20 – Correlação entre o escoamento mensal calculado e registado na estação hidrométrica de Monte dos Fortes.	37
Figura 21 – Variação do volume armazenado na albufeira de Bravura e efluências.....	40
Figura 22 - Variação do volume armazenado na albufeira do Funcho e efluências.	40
Figura 23 - Variação do volume armazenado na albufeira de Odeleite e efluências.....	40
Figura 24 – Metodologia de análise (adaptado de Cunha <i>et al.</i> , 2004).	50
Figura 25 – Células da malha dos modelos regionais de clima que abrangem a região algarvia.....	51
Figura 26 – Ciclo anual da Evapotranspiração de Referência para as bacias hidrográficas.	55
Figura 27 – Ciclo anual da precipitação ponderada sobre as bacias hidrográficas.....	56
Figura 28 – Escoamento acumulado na bacia hidrográfica da albufeira de Bravura.....	56
Figura 29 - Escoamento acumulado na bacia hidrográfica da albufeira do Funcho.	57
Figura 30 - Escoamento acumulado na bacia hidrográfica da albufeira de Odeleite.....	57
Figura 31 - Escoamento acumulado na bacia hidrográfica da albufeira de Odelouca.....	57
Figura 32- Variação do volume armazenado na albufeira de Bravura e efluências.	60
Figura 33 - Variação do volume armazenado na albufeira de Funcho e efluências.	60
Figura 34 - Variação do volume armazenado na albufeira de Odelete e efluências.....	60
Figura 35 – Correlograma rk da series de escoamentos anuais na albufeira de Bravura para o período 2070 a 2100, com representação dos limites inferior e superior do intervalo de confiança estabelecido.	73
Figura 36 - Correlograma rk da series de escoamentos anuais na albufeira de Funcho para o período 2070 a 2100, com representação dos limites inferior e superior do intervalo de confiança estabelecido.	73

Figura 37 - Correlograma rk da series de escoamentos anuais na albufeira de Odeleite para o período 2070 a 2100, com representação dos limites inferior e superior do intervalo de confiança estabelecido.	74
Figura 38 - Correlograma rk da series de escoamentos anuais na albufeira de Odelouca para o período 2070 a 2100, com representação dos limites inferior e superior do intervalo de confiança estabelecido.	74
Figura 39 - Comparação das médias das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas em Bravura.....	80
Figura 40 – Comparação dos desvios padrão das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas em Bravura.....	80
Figura 41 - Comparação das médias das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas em Funcho.....	81
Figura 42 - Comparação dos desvios padrão das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas em Funcho.	81
Figura 43 – Comparação das médias das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas em Odeleite.	82
Figura 44 – Comparação dos desvios padrão das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas em Odeleite.	82
Figura 45 – Comparação das médias das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas em Odelouca.	83
Figura 46 – Comparação dos desvios padrão das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas em Odelouca.	83
Figura 47 – Comparação entre a série de escoamento futura e as séries geradas para Bravura.....	84

Figura 48 - Comparação entre a série de escoamento futura e as séries geradas para Funcho.....	84
Figura 49 - Comparação entre a série de escoamento futura e as séries geradas para Odeleite.....	85
Figura 50 - Comparação entre a série de escoamento futura e as séries geradas para Odelouca.....	85
Figura 51 – Traçado dos polígonos de Thiessen para as estações meteorológicas.....	87
Figura 52 – Temperatura ponderada nos 15 municípios abastecidos pelo SMAAA.....	88

Índice de Quadros

Quadro 1 – Origens de água superficiais em utilização pela AdA.	17
Quadro 2 – Distribuição do escoamento total no Algarve segundo trabalhos de vários autores	19
Quadro 3 – Parâmetros do Modelo hidrológico Temez a utilizar na geração das aflúências a cada albufeira (fonte: Universidade do Algarve, 2009).	26
Quadro 4 – Estações meteorológicas e coeficientes de Thiessen utilizados no cálculo da precipitação ponderada sobre as bacias hidrográficas (fonte: Universidade do Algarve, 2009).	26
Quadro 5 – Estações meteorológicas utilizadas para o cálculo da temperatura média (fonte: Universidade do Algarve, 2009).	27
Quadro 6 – Evapotranspiração potencial mensal média na secção de referência de cada barragem, mm (fonte: Universidade do Algarve, 2009).	27
Quadro 7 – Características das bacias hidrográficas (fonte: INAG).	29
Quadro 8 – Taxas de evaporação utilizadas na determinação das perdas por evaporação nas albufeiras, baseadas nos valores médios registados, mm (fonte: INAG).	39
Quadro 9 - Parâmetros do ajuste linear entre a área superficial inundada, A (ha), e o volume de água armazenada, S (hm ³), das albufeiras – $A=a_A + b_A \times S$	39
Quadro 10 – Áreas das bacias hidrográficas e volume mínimo de exploração (fonte: INAG e ARBA).	41
Quadro 11 - Situações de seca nas regiões do Norte, Centro e Sul, desde 1980 (fonte: I.M.).	46
Quadro 12 – Evolução das temperaturas médias dos últimos 7 anos em relação ao valor médio do período de controlo 1961 – 90 (dados do I.M.).	46
Quadro 13 – GCM e RCM considerados no projecto “PRUDENCE”.	48
Quadro 14 – Combinações de GCM e RCM e respectivos acrónimos.	49
Quadro 15 – Temperatura mensal média gerada pelos diferentes modelos climáticos, corrigida do viés.	53

Quadro 16 – Evapotranspiração de Referência determinada através das projecções climáticas para o fim do século e a determinada para as séries registadas entre 1961 e 1990.....	54
Quadro 17 – Precipitação ponderada nas células dos modelos regionais, gerada pelos diferentes modelos climáticos.....	55
Quadro 18 – Comparação entre o escoamento acumulado das séries históricas da rede monitorização do INAG e o escoamento acumulado determinado através das séries climáticas futuras.	58
Quadro 19 – Características estatísticas dos escoamentos anuais produzidas pelo Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa.....	68
Quadro 20 - Características estatísticas dos escoamentos mensais produzidas através Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa para a albufeira de Bravura.....	69
Quadro 21 – Coeficientes de correlação dos escoamentos mensais produzidas através Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa para a albufeira de Bravura.....	69
Quadro 22 - Características estatísticas dos escoamentos mensais produzidas através Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa para a albufeira de Funcho.....	70
Quadro 23 - Coeficientes de correlação dos escoamentos mensais produzidas através Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa para a albufeira de Funcho.....	70
Quadro 24 - Características estatísticas dos escoamentos mensais produzidas através Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa para a albufeira de Odeleite.....	71
Quadro 25 - Coeficientes de correlação dos escoamentos mensais produzidas através Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa para a albufeira de Odeleite.	71
Quadro 26 - Características estatísticas dos escoamentos mensais produzidas através Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa para a albufeira de Odelouca.	72

Quadro 27 - Coeficientes de correlação dos escoamentos mensais produzidas através Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa para a albufeira de Odelouca.	72
Quadro 28 – Comparação das estatísticas das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos anuais nas quatro albufeiras e de 50 séries geradas pelo modelo NORM.	75
Quadro 29 - Comparação das estatísticas das séries projectadas resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas.	76
Quadro 30 - Comparação das estatísticas das séries projectadas resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas.	77
Quadro 31 - Comparação das estatísticas das séries projectadas resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas.	78
Quadro 32 - Comparação das estatísticas das séries projectadas resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas.	79
Quadro 33 – Estações meteorológicas utilizadas para o cálculo das temperaturas médias do ar nos municípios abastecidos pelo SMAAA.	86
Quadro 34 – Coeficientes de Thiessen utilizados no cálculo da temperatura média em cada município.	87
Quadro 35 – Correspondência entre as estações meteorológicas da rede de monitorização e as células da malha dos RCM.	89
Quadro 36 – Temperatura media do ar calculada a partir das séries DMI.ecscA2.	89
Quadro 37 - Temperatura media do ar calculada a partir das séries HC.adfa.	90
Quadro 38 - Temperatura media do ar calculada a partir das séries SMHI.MPIA2.	90
Quadro 39 – Temperaturas ponderadas futuras para cada município algarvio, °C.	91
Quadro 40 – Equações utilizadas para determinar as projecções para o consumo de água no SMAAA.	92

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contexto Geral

'mitigate we might; adapt we must'
Nordhaus, 1994

No ano de 2005, o Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água do Algarve (SMAAA) sofreu as consequências do evento de seca que ocorreu no ano hidrológico 2004-2005 e que cobriu a quase totalidade do território do continente português. Na sequência desse evento, o SMAAA deixou de fornecer aos municípios cerca de 10 Mm³ de água. Secas com esta extensão apresentam elevada probabilidade de repetição, provocada pela grande variabilidade temporal e espacial da precipitação e, consequentemente, da disponibilidade dos recursos hídricos e agravada pelos cenários de alterações climáticas (AC). As projecções apresentadas para os diferentes cenários de alterações climáticas prevêm o aumento da frequência dos eventos de precipitação de curta duração e elevada intensidade que, quando acontecem após longo período de seca, estão associados a menor infiltração e a maior escoamento superficial podendo dar origem a inundações. Por outro lado, as projecções para o fim do século apontam para a redução da precipitação anual média e o aumento da temperatura com consequências do ponto de vista da disponibilidade hídrica. O aumento da temperatura implica o aumento da evaporação e da evapotranspiração, com aumento das necessidades hídricas nos diferentes sectores (McCarthy *et al.*, 2001). O aumento do consumo de água nos sectores doméstico, industrial e agrícola implica a depleção dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais.

A precipitação anual média projectada pelo modelo climático regional HAdRM2 para o período 2080-2100 e aplicada no projecto SIAM (Santos *et al.*, 2002) decresce, relativamente ao período de controlo, praticamente em todo o país, principalmente no Alentejo e durante a Primavera. As

precipitações intensas tenderão a aumentar e a acumular-se nos meses de Inverno. Este cenário poderá aumentar significativamente o risco de episódios de cheia e a disponibilidade hídrica.

Uma das consequências mais significativas das AC, ao nível dos recursos hídricos, encontra-se na degradação da qualidade dos mesmos, resultante do aumento da temperatura da água que pode levar ao desenvolvimento de grandes quantidades de microalgas nas albufeiras, devido à diminuição da concentração de oxigénio dissolvido na água. A qualidade da água poderá, também, ser afectada pela redução do escoamento e da consequente redução da capacidade de diluição de substâncias poluentes ou, ainda, de um agravamento das cargas poluentes resultantes do aumento da erosão e do transporte sólido, eventualmente contaminados com fertilizantes utilizados na agricultura, assim como de resíduos sólidos de origem urbana ou industrial, devido à ocorrência de eventos extremos de precipitação com elevada intensidade após um período seco. Estas consequências podem obrigar à adaptação dos processos de tratamento das estações de tratamento de água (ETA), ou, em casos extremos, impossibilitar temporariamente o tratamento da água para consumo humano ou para outros usos, como seja a rega.

As zonas costeiras enfrentam ainda um problema adicional relativo à intrusão salina, afectando a qualidade da água subterrânea. Este fenómeno pode resultar da sobre-exploração dos aquíferos e/ou do aumento do nível da água do mar previsto pelos cenários climáticos futuros, projectado entre 14 cm e 44 cm no final do século XXI em todo o mundo, que aumentará a concentração de sal nas águas subterrâneas e estuarinas (in. <http://www.climate.org/topics/water.html>).

Face ao aumento que se tem vindo a observar da população do Algarve, especialmente a flutuante, e a alteração nos hábitos de consumo de água, que teve um grande incremento, sobretudo nos últimos 20 anos, a região poderá enfrentar em anos secos um cenário em que os recursos hídricos naturais da região sejam escassos face à procura.

Nos quatro municípios mais densamente povoados da região algarvia (Faro, Loulé, Albufeira e Portimão) o consumo de água facturado subiu 48% entre o ano 1996 e o ano 2004 (Dias *et al.*, 2008). Segundo dados do INE, entre 1991 e 2001, o aumento da população residente na região foi de 16% e nos 4 municípios referidos foi de 23% e o aumento do número de alojamentos familiares foi de 30% (de 213 015 para 277 345).

Desde o ano 2000 que o SMAAA abastece água a aproximadamente 900 mil habitantes, nos meses de época alta (entre 15 Junho e 15 de Setembro). As origens de água do SMAAA eram, até há pouco tempo atrás, exclusivamente superficiais, incluindo várias albufeiras, nomeadamente, Odeleite, Beliche, Funcho e Bravura. A partir de 2005 dez novas captações subterrâneas foram colocadas em serviço pela Águas do Algarve, S.A. (AdA), com o objectivo de aumentar a flexibilidade na disponibilidade de água a tratar para consumo humano. Todavia, uma origem de grande importância para o SMAAA, a barragem de Odelouca, ficou concluída durante o mês de Setembro de 2009, estando o início de exploração marcado para o ano hidrológico 2010/2011.

Na sequência do evento de seca registado no ano hidrológico 2004/2005, foi desenvolvido um Plano de Contingência (PC) para o SMAAA. Esse plano prevê a possibilidade de reactivação de antigas captações subterrâneas municipais, que se encontram fora de serviço desde o ano de 2000 (Anexos 1 e 2). O referido plano foi posto em prática no ano de 2005, de acordo com as restrições impostas pela Comissão da Seca¹, com o objectivo de garantir o abastecimento público de água na região. As projecções apresentadas pelos modelos de clima para os cenários das AC, apontam para que as captações superficiais em uso e subterrâneas de reserva, apresentadas no Plano de Contingência do SMAAA, possam ser afectadas. Em 2007 foram já indicadas três

¹ "Comissão para a Seca 2005", aprovada a 31 de Março de 2005 em Conselho de Ministros no âmbito do «Programa de Acompanhamento e Mitigação dos Efeitos da Seca 2005». A Comissão foi coordenada pelo Instituto da Água e integrava vários organismos, tais como o Ministério do Ambiente – directamente através do Secretário de Estado do Ambiente, Humberto Rosa, que era responsável pela “orientação política” da Comissão para a Seca - e do Ministério da Agricultura, a ANMP – Associação Nacional de Municípios e o SNBPC – Serviço Nacional de Bombeiros e Protecção Civil.

dessas captações (do total de 40 em todo o Algarve) como impróprias para extracção pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve (CCDR-A), duas delas porque a sua entrada em extracção iria aumentar a concentração de cloretos no aquífero e a outra porque já apresentava elevada concentração de cloretos na água extraída (JK12 e JK13 no aquífero Ferragudo – Albufeira e JCS2 no aquífero Peral – Moncarapacho).

Na mesma altura foi criado um Plano de Acção, que estabeleceu acções a curto prazo para o reforço do SMAAA, enquanto se aguardava a finalização da construção da barragem de Odelouca. Este plano assegura uma grande flexibilidade e segurança do SMAAA frente a cenários de contingência, tais como secas ou outras situações de emergência que afectem a qualidade ou quantidade dos volumes aduzidos de água. As alternativas estabelecidas para assegurar o contínuo abastecimento de água incluem a transferência de água entre as duas sub-regiões algarvias através do SMAAA, sotavento e barlavento, através de uma estação elevatória reversível e a criação de novas origens de água, sendo estas exclusivamente subterrâneas.

O plano incluiu, ainda, a organização de uma campanha para o uso eficiente da água e um estudo sobre a evolução do consumo de água na região nos últimos anos. Para adaptação às projecções dadas pelos modelos de clima com base nos cenários de AC, a entidade gestora do SMAAA poderá antecipar os cenários de evolução dos consumos e as limitações nas disponibilidades de água, no que respeita ao planeamento e gestão das origens de água e infra-estruturas. Face aos cenários previstos, poderá ser necessário introduzir alterações no sistema de captação, tratamento, armazenamento e abastecimento de água. No limite, algumas das infra-estruturas poderão vir a ter que ser substituídas ou ter remodelações significativas. Pelo que será importante efectuar um planeamento financeiro por parte da entidade gestora.

1.2. Objectivos e Metodologia

O objectivo principal do presente estudo é avaliar os impactos principais das alterações climáticas (AC) no SMAAA, nomeadamente ao nível da disponibilidade de água na origem e da procura de água para consumo humano e a adaptação do PC do SMAAA face a esses impactos.

Para atingir tais objectivos foi efectuada uma avaliação do período de retorno relativo à disponibilidade hídrica superficial associada às diferentes condições do plano de contingência com base no modelo hidrológico Temez calibrado e validado para as bacias hidrográficas relativas às quatro albufeiras fonte de abastecimento disponíveis, actualmente, para captação do SMAAA. Após essa avaliação e recorrendo às séries de precipitação e temperatura projectadas pelos modelos de clima para o período 2071 – 2100 e devidamente corrigidas do viés (com base nas séries históricas de precipitação e de temperatura relativas ao período de controlo 1961 a 1990) foram introduzidas no modelo hidrológico e estimadas as séries de escoamento afluentes às albufeiras de Bravura, Funcho, Odeleite e Odelouca para o final do século (período de 2071 a 2100). Foram, ainda, associados aos caudais estimados o período de retorno e, consequentemente, afectadas as situações previstas no plano de contingência do período de retorno. É possível, assim, avaliar a alteração do período de retorno das condições apresentadas no PC, num cenário de alterações climáticas.

Os parâmetros de calibração do modelo hidrológico Temez utilizados para as bacias hidrográficas relativas às barragens de Beliche, Bravura, Funcho, Odeleite e Odelouca, foram produzidos no âmbito do projecto de I&D, *Optexplor* (2005-2009), coordenado pela Universidade do Algarve, e a validação do modelo teve por base séries diárias disponíveis nas estações meteorológicas e hidrométricas existentes nas áreas de estudo.

Foi, ainda, avaliada a variação da procura de água para consumo humano em função do aumento populacional no Algarve e do aumento da temperatura na região. Para tal, aplicaram-se as séries

de temperatura para o período de 2006 a 2009 registadas nas estações meteorológicas da região algarvia e calculada a temperatura ponderada de cada um dos 16 municípios do Algarve através da aplicação do Modelo de Polígonos de Thiessen. Através da correlação entre os registos históricos de consumos municipais no SMAAA, no período entre 2006 a 2009, e a temperatura ponderada de cada município, foi obtida uma função que se considerou representar a variação do consumo em função da temperatura. Foi estimada a capitação para o final da concessão do SMAAA, bem como o volume total anual a ser fornecido para os cenários climáticos futuros e a população estimada no Estudo de Viabilidade Económica e Financeira (EVEF).

Os dados utilizados de população servida pelo SMAA, foram os apresentados no EVEF da AdA.

1.3. Estrutura da Tese

A tese encontra-se estruturada em seis capítulos. No primeiro capítulo pretende dar-se uma visão da importância da avaliação dos impactos das AC nas áreas ambiental, económica e social para o final do século, bem como mostrar a importância da implementação de medidas de adaptação. O capítulo inclui, ainda, a apresentação dos objectivos do trabalho e a metodologia utilizada para os atingir, assim como uma descrição da estrutura da presente tese.

No capítulo segundo, descrevem-se os projectos e a investigação anterior e em curso sobre o impacto das AC no sector da água, no mundo e em Portugal.

O capítulo terceiro está dividido em dois subcapítulos, um primeiro descreve todo o sistema multimunicipal de abastecimento, tanto os seus componentes físicos como as origens de água disponíveis para tratamento nas estações de tratamento, o segundo subcapítulo inclui uma análise à variabilidade das ofertas úteis de água do SMAAA, bem como a apresentação dos resultados da modelação hidrológica das bacias hidrográficas relativos às secções de referência nas barragens em estudo, através da representação dos caudais afluentes às albufeiras em exploração.

No capítulo quarto é apresentado o plano de contingência criado para o SMAAA no início do ano de 2005, para fazer face às dificuldades que surgiram no abastecimento público de água na região no decurso do evento de seca que ocorreu no ano hidrológico de 2004 – 2005.

No capítulo quinto são apresentados os resultados de simulações do modelo hidrológico através dos caudais afluentes às albufeiras, aplicando as séries de temperatura e precipitação projectadas para a região através dos modelos de clima, de modo a estimar o impacto das AC nos recursos hídricos disponíveis para o SMAAA. Apresenta-se, ainda, uma estimativa do aumento do consumo de água no SMAAA, face ao aumento projectado da temperatura do ar devido às AC e ao aumento projectado da população servida na região e um método de geração de séries de escoamento no ponto 5.5, que se verifica ser um instrumento na gestão e planeamento de sistemas de recursos hídricos.

Por último, o capítulo sexto encontra-se dividido em dois subcapítulos, onde são apresentadas as conclusões do estudo realizado e sugestões para investigação e acções futuras.

2. SÍNTESE DE CONHECIMENTOS

Ao iniciar-se este capítulo, deparou-se com a dificuldade em encontrar informações sobre o tema específico do trabalho. Em Portugal não foi possível encontrar evidências, até à data, da existência de Planos de Contingência para sistemas de abastecimento de água, bem como na vizinha Espanha, o que demonstra a especificidade do presente estudo. Pelo que, os casos e os estudos desenvolvidos e em desenvolvimento que se apresentam neste capítulo são apenas adaptações no âmbito geral às AC, não especificamente aos sistemas de abastecimento de água.

As primeiras preocupações com os impactos das AC no mundo remontam há pouco mais de 20 anos atrás. Alguns estudos e projectos conjuntos têm sido desenvolvidos ao nível das Nações Unidas e dos estados membros da União Europeia. Inicialmente, o objectivo dos projectos no âmbito das AC era desacelerar as AC e mitigar os seus efeitos, nos últimos anos têm sido vocacionados também para a adaptação às AC, quer a nível ambiental, quer a nível socioeconómico.

Uma das referências com maior importância ao nível da problemática das AC foi a criação em 1988, do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC), tratando-se de um órgão científico criado pela Organização Meteorológica Mundial e pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente. Dele fazem parte todos os governos membros daquelas duas organizações, mais de 180 países, cientistas e representantes de organizações não governamentais.

O Objectivo do IPCC não é levar a cabo investigação científica, mas sim reportar e avaliar o estado da ciência no que diz respeito às AC. A actividade do IPCC está organizada em três grupos de trabalho, um grupo dedicado à “Ciência das Alterações Climáticas”, um segundo grupo de trabalho dedicado a “Os impactos ambientais e socioeconómicos das AC” e um terceiro grupo dedicado a “A formulação de estratégias de resposta, incluindo as de mitigação e de

adaptação”. Desde a sua criação, o IPCC já publicou quatro relatórios de avaliação, respectivamente em 1990, 1995, 2001 e 2007.

A maior parte dos esforços internacionais tem-se dirigido a medidas e políticas de mitigação e redução de emissões de gases com efeito de estufa (GEE). No entanto, actualmente alguns cientistas (Parry *et al.*, 1998; Pielke, 1998) têm vindo a chamar a atenção e a sugerir um esforço de adoptar essencialmente, uma estratégia de adaptação às AC. Segundo estes autores, o compromisso de reduzir as emissões de GEE não irá reduzir os efeitos mais prejudiciais das projecções pelo facto dos países em desenvolvimento não se terem responsabilizado perante o Protocolo de Quioto (tratado internacional sobre redução de emissão de gases nocivos ao ambiente) e, por outro lado, pela inércia do próprio sistema climático², pois mesmo que se verifiquem grandes reduções nas emissões de GEE num futuro próximo, ocorrerão manifestações das AC.

A nível nacional surgiu em 1999 o projecto SIAM I “ Climate Change in Portugal, Impacts and Adaptation Measures”. Este projecto tinha como objectivo a primeira avaliação integrada dos impactos e medidas de adaptação às AC em Portugal Continental no século XXI. Os estudos realizados basearam-se em cenários de clima futuro obtidos através de modelos de circulação geral da atmosfera e incidiram sobre um conjunto de sectores socioeconómicos e biofísicos, nomeadamente os recursos hídricos, zonas costeiras, agricultura, saúde, energia, florestas, biodiversidade e pescas (<http://www.siam.fc.ul.pt>).

² O sistema climático está normalmente numa situação de EQUILÍBRIO TÉRMICO: a energia que recebe do Sol é igual à que emite para o espaço. Assim, a TEMPERATURA MÉDIA do planeta é constante. Este equilíbrio, no entanto, é quebrado se houver alguma alteração no BALANÇO ENERGÉTICO do sistema: se por algum motivo a energia perdida para o espaço se tornar menor que a recebida, a temperatura média do planeta começa a subir. A poluição atmosférica, por exemplo, pode causar um desequilíbrio dessa natureza. Se a PERTURBAÇÃO INICIAL for mantida constante, o sistema climático tende a uma nova situação de equilíbrio, porém a uma temperatura média mais alta. Este retorno ao equilíbrio térmico ocorre porque a elevação da temperatura provoca um aumento da energia emitida para o espaço (fenómeno conhecido como “dumping” radiativo). Entretanto, este retorno ao equilíbrio não é instantâneo: ele demora um período de tempo que pode ser mais longo ou mais curto, dependendo da intensidade e da natureza da perturbação inicial. Isto é o que se chama INÉRCIA do sistema climático: há um tempo de ajuste entre a perturbação inicial do equilíbrio térmico e o retorno ao equilíbrio, a uma temperatura mais alta. No caso do desequilíbrio provocado pelo efeito estufa actual, o tempo de ajuste do sistema climático é da ordem de séculos (principalmente devido à enorme capacidade térmica dos oceanos) (<http://www.sergio.cortizo.nom.br/sistema.html>).

Os cenários climáticos futuros foram obtidos usando os resultados do modelo global HadCM3 e do modelo regional HadRM2, ambos desenvolvidos pelo Hadley Centre do Reino Unido. Aplicando o modelo de Temez foram simuladas as condições de escoamento para 2050 e 2100 em 28 bacias hidrográficas representativas dos vários regimes existentes no continente português (Santos *et al.*, 2001).

Os resultados do projecto foram publicados em Outubro de 2001. As conclusões apontam para o agravamento dos problemas de planeamento e de gestão dos recursos hídricos em Portugal, decorrente da redução da disponibilidade de água, do aumento da variação sazonal do escoamento, do provável aumento das necessidades de água do sector agrícola, da manutenção e provável aumento de cheias e, ainda, do provável aumento dos problemas de qualidade de água (Santos *et al.*, 2001).

Uma segunda fase desse mesmo projecto teve início em Janeiro de 2002, e focou-se basicamente numa zona de estudo, o estuário do Sado, tendo sido os estudos posteriormente alargados às regiões autónomas da Madeira e dos Açores. Durante o SIAM II foi efectuada uma divulgação dos resultados obtidos no SIAM I, através de reuniões onde participaram as equipas dos sectores considerados relevantes para a região escolhida e os respectivos agentes interessados. O relatório final com os resultados da 2ª fase foi publicado em Janeiro de 2006 (www.siam.fc.ul.pt/siam.html).

As principais conclusões, no âmbito dos impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos portugueses, foram as seguintes (Cunha *et al.*, 2004):

- ✓ O resultado das simulações aponta para uma tendência para a concentração da precipitação nos meses de Inverno e, consequentemente, a concentração do escoamento na mesma estação do ano. Esta tendência acentuará a assimetria sazonal da disponibilidade hídrica em Portugal continental;

- ✓ A maioria dos cenários projecta uma tendência para a redução do escoamento na Primavera, Verão e Outono;
- ✓ A variação relativa dos impactos das alterações climáticas sobre o escoamento aumenta de Norte para Sul;
- ✓ A magnitude das projecções de aumento do escoamento é menor que a magnitude das projecções de redução. As primeiras atingem no máximo os 40%, enquanto que as segundas podem atingir os 80%;
- ✓ O cenário mais pessimista prevê uma redução do escoamento médio anual para 2050 entre os 10% a norte do Douro e os 50% na região do Algarve. Esta tendência acentua-se em 2100, admitindo que a redução do escoamento anual médio possa atingir 80% no Algarve;
- ✓ Os restantes cenários prevêem um decréscimo do escoamento anual médio que pode atingir, em 2100, os 20%, de acordo com o modelo global HadCM3-B2a, ou os 40%, de acordo com o modelo regional de clima HadRM2;
- ✓ Projecta-se que a qualidade da água se degrade devido ao aumento da temperatura e à redução do escoamento nos meses de Verão, particularmente na região Sul;
- ✓ Projecta-se um rebaixamento dos níveis freáticos nos aquíferos mais superficiais, devido à redução esperada da recarga e do aumento das taxas de evaporação;
- ✓ Projecta-se também uma degradação dos ecossistemas fluviais que sejam muito dependentes da água subterrânea;
- ✓ Projecta, finalmente, uma alteração dos graus de vulnerabilidade dos aquíferos à poluição agrícola relacionada com as alterações do uso do solo e das práticas agrícolas.

Em Junho de 2007 foi feita uma comunicação pública do Livro Verde e Estratégia da União Europeia (UE) sobre Adaptação às AC (Pais, 2008). Este Livro Verde baseia-se em quatro

princípios: desencadear uma acção precoce da UE em relação às AC, integrar a adaptação nas acções externas da UE, reduzir a incerteza através da expansão da investigação climática e envolver a sociedade europeia na preparação de estratégias compreensivas sobre adaptação (Pais, 2008). Das componentes possíveis da Estratégia Europeia resultou, após um período de consulta das partes interessadas e de consulta interna, em Outubro de 2008 na publicação do Livro Branco, cujo conteúdo se baseia na aplicação de nova legislação e leis de financiamento para as acções a desencadear (Pais, 2008). Essencialmente, este Livro Branco rege o ajustamento das políticas, o preenchimento de lacunas de conhecimento, a coordenação de estratégias e a integração da adaptação em sectores, como sejam a agricultura, a gestão dos recursos hídricos, a biodiversidade e pescas, e nos programas comunitários o desenvolvimento regional, a agricultura e pescas, o desenvolvimento social e rural e o desenvolvimento da investigação.

A Directiva Quadro da Água (DQA), aprovada em Outubro de 2000 (n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho), estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água. Em Dezembro de 2005, o Estado português transpôs para a ordem jurídica nacional a DQA, estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das massas de águas (águas de superfície interiores, águas de transição, águas costeiras e águas subterrâneas). A Lei da Água prevê a elaboração de Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica (PGBH), sendo que está definido que os planos já deverão considerar os impactos das alterações climáticas.

Em Janeiro de 2009 foi publicado, para participação pública, informação de suporte para a criação dos PGBH, intitulada “Questões Significativas da Gestão da Água”, fazendo parte da fase intercalar entre a definição do programa de trabalhos e a versão provisória dos PGRH. Nessa mesma publicação é feita referência às AC, assim sendo, é referido no documento que os Directores da Água da UE expressaram a necessidade de incluir o tema adaptação às AC no 1.º

ciclo dos PGRH, com posterior aprofundamento nos ciclos seguintes (2º e 3º ciclos dos PGRH). Sendo descrito que é necessário considerar em particular os seguintes aspectos: legislação comunitária e nacional existente sobre o planeamento e a gestão da água e a sua adaptação às AC; a importância da integração desta temática com outras políticas; os objectivos ambientais preconizados na DQA e na Lei da Água face às AC e as medidas de adaptação necessárias implementar. No mesmo documento é feita referência a que o grupo de trabalho, no âmbito da Estratégia Comum de Implementação da DQA sobre *Climate Change and Water*, acordou num conjunto de acções relacionadas com o 1º ciclo dos PGRH. Sendo assim, é necessária a inclusão em cada plano nacional e internacional de um capítulo relativo a AC, que contemple o seguinte: facilitar o compromisso dos sectores e a consulta do público; tendências e cenários de AC; identificação de impactos e sectores afectados; perspectivas para futura integração dos impactos das AC no processo de planeamento; verificação climática dos programas de medidas e preocupação de evitar acções irreversíveis e por último acções relacionadas com o 2º e 3º ciclo dos PGRH.

Desde Julho de 2009, encontra-se para consulta pública uma proposta de estratégia nacional de adaptação às AC em Portugal (INAG, 2009), versão aprovada pela Comissão de Alterações Climáticas.

Nesse documento são identificados os domínios e sectores estratégicos onde se irão identificar os impactos possíveis e a definição de medidas de adaptação, tratando-se dos seguintes sectores: Ordenamento do território e cidades; recursos hídricos; segurança de pessoas e bens; saúde humana; energia e indústria; biodiversidade; agricultura, florestas e pescas; turismo e por último zonas costeiras.

Sendo que no sector dos recursos hídricos, questão mais relevante para a presente tese, encontra-se definido na componente de “serviços de água”, o abastecimento e distribuição de água, para

consumo doméstico, comercial e industrial e a drenagem e tratamento de águas residuais e pluviais, em meio urbano.

A identificação das linhas de actuação, neste campo, desenvolvem-se através da definição de eixos de adaptação, objectivos estratégicos, objectivos específicos e acções programáticas, nas diversas vertentes instrumentais relevantes, sejam de ordem técnica ou estrutural, legal ou normativa, económica ou de informação e comunicação, tendo em atenção aspectos quantitativos e de disponibilidade da água, de qualidade da água e de controlo da poluição (Matos, 2010).

A Empresa Pública de Águas Livres, S.A. (EPAL) e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), fazem parte do grupo das organizações europeias que compõem o projecto iniciado em Fevereiro de 2010, com a duração de 48 meses, denominado “PREPARED – Enabling Change”.

Os resultados que se pretendem obter com este projecto consistem no planeamento e gestão das infra-estruturas dos sistemas de abastecimento da água para consumo humano, dos sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais e dos sistemas de drenagem de águas pluviais. Baseia-se em desenvolver uma gestão infra-estrutural optimizada desses sistemas e não apenas uma gestão com vista à adaptação às AC, embora seja esse o ponto de partida.

As actividades e soluções do PREPARED estarão centradas na gestão e avaliação do risco em todo o ciclo urbano da água, através do desenvolvimento de Planos de Segurança da Água inovadores. Outras inovações que irão ser implantadas por este projecto são a criação de modelos que permitirão em tempo real uma melhor e mais rápida actuação face às AC e novas regras de elaboração de projectos oferecendo uma maior flexibilidade e reforço dos sistemas.

O PREPARED envolve a comunidade local na identificação dos problemas no ciclo urbano da água para em conjunto encontrar as soluções ideais para os sistemas, que serão suportadas por todos, através de um processo de aprendizagem activa conjunta (fonte: http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=proj.document&PJ_LANG=FR&PJ_RN=11188138).

3. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA MULTIMUNICIPAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO ALGARVE E DIAGNÓSTICO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

3.1. Descrição do SMAAA

O SMAAA, gerido pela AdA, foi criado no ano 2000 e resultou da junção de duas empresas, Águas do Sotavento Algarvio e Águas do Barlavento Algarvio. O surgimento do SMAAA teve grande relevância para a região, quer ao nível da melhoria da qualidade de água fornecida, quer na gestão do uso dos recursos hídricos disponíveis, o que acarretou para a região não só benefícios ambientais mas também económicos, uma vez que melhorou a imagem da região ao nível da qualidade da água distribuída para consumo humano, favorecendo o sector do turismo, o principal vector da economia da região algarvia.

O SMAAA abastece 15 dos 16 municípios algarvios, prevendo-se abranger a totalidade dos municípios da região em finais de 2011. A população residente por município varia entre os 3 770 habitantes e 59 160 habitantes. O sistema abastece nos meses de Outubro a Maio uma população de cerca de 400 mil habitantes, sendo que nos meses de Verão o número de habitantes servidos praticamente triplica, de acordo com os dados apresentados no Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (MAOT, 2000), que indica uma estimativa para a população presente total máxima, no mês de Agosto, de 1 189 577 hab.

O sistema abastece 65 reservatórios municipais e é composto por 450 km de condutas, com diâmetros a variar entre os 60 mm e os 1500 mm, sendo o material das condutas maioritariamente, ferro fundido dúctil ou PEAD.

O SMAAA tem como principais origens de água superficial os aproveitamentos hidráulicos de fins múltiplos – abastecimento público e agricultura – de Odeleite/Beliche, que fornecem água bruta às estações de tratamento de água (ETA) de Beliche e de Tavira, a albufeira de Bravura

2000. O fornecimento de água bruta à ETA de Alcantarilha é efectuado através de um adutor com cerca de 12 km de comprimento, gerido pelo INAG.

Nos estudos de consumos e origens de água para o barlavento, concluiu-se que a capacidade de regularização da albufeira da barragem do Funcho, para uma garantia de 95% de fornecimento, é da ordem de 31 hm³. Até à presente data, o volume máximo disponibilizado num ano para abastecimento público foi de 26 hm³ e o volume médio de utilização previsto é de 20 hm³/ano (AdA, 2007).

A captação de água na albufeira da barragem da Bravura complementa o abastecimento de água a barlavento, nas épocas alta e média, desde Março a Outubro, após tratamento na ETA de Fontainhas, que recebe água bruta através de um canal de rega gerido pela Associação de Regantes e Beneficiários do Alvor (ARBA), podendo disponibilizar para abastecimento público um volume médio de 4,5 hm³ por ano.

No Quadro 1, apresenta-se informação detalhada sobre as quatro origens de água superficial em utilização pela AdA.

Quadro 1 – Origens de água superficiais em utilização pela AdA.

<i>Albufeira</i>	<i>Capacidade útil</i>	<i>NPA</i>	<i>Ano entrada em serviço</i>	<i>Utilização média anual pelo SMAAA</i>
Odeleite/Beliche	117 hm ³ / 47,6 hm ³	52,00 m	1996/1986	40 hm ³ /ano
Funcho	42,750 hm ³	96,00 m	1993	20 hm ³ /ano
Bravura	32,325 hm ³	84,10 m	1958	4,5 hm ³ /ano

Dado que, após a conclusão do sistema do barlavento, no final de 1999, a barragem de Odelouca, principal origem de água do sistema ainda não estava em execução, as alternativas consideradas passaram pelo aproveitamento conjunto de várias origens de água, entre as quais se destaca, a

partilha com o uso agrícola de uma parte das captações subterrâneas e das condutas do perímetro de rega de Vale da Vila, no concelho de Silves.

É nesse quadro transitório de partilha das condutas de rega e das captações subterrâneas de água instaladas nos sub-blocos 2 e 3 daquele perímetro agrícola, subjacente ao aquífero mais produtivo e de melhor qualidade da região – o aquífero Querença/ Silves – que se celebrou um Protocolo para o Fornecimento de Água Bruta à ETA de Alcantarilha a partir dos furos do Perímetro de Rega do Vale da Vila, em Março de 2001, entre o Instituto da Água (INAG) a AdA e a então Direcção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR), com vista a assegurar o abastecimento público, na fase pré-Odelouca. Este sistema está preparado para captar até um limite de 13 hm³ anuais, ainda que o volume a captar esteja muito dependente dos resultados da monitorização permanente do comportamento do aquífero (Anexos 3 e 4).

Através de aditamento ao Protocolo atrás referido, assinado em 8 de Fevereiro de 2007, estas captações ficaram disponibilizadas à AdA, por um período de 20 anos.

Esta disponibilidade de água torna-se de importância relevante, dado essas captações serem consideradas estratégicas para a garantia do abastecimento público em períodos de escassez e seca prolongada (AdA, 2007).

O plano de acção criado em 2005 no seguimento da seca verificada previu igualmente a implantação de novas captações subterrâneas (Benaciate) nas imediações da ETA de Alcantarilha. As captações subterrâneas apresentam, no seu conjunto, uma capacidade máxima de 1000 L/s, estando limitadas a uma extracção de 500 L/s que representa cerca de 15 hm³/ano.

Assim, em ano normal, a AdA dispõe de um volume total anual de água para abastecimento público igual a 89,5 hm³.

O SMAAA dispõe ainda de duas estações elevatórias reversíveis, que possibilita a transferência de caudais até 10 hm³/ano, entre as duas sub-regiões de barlavento e sotavento, esta foi ampliada

em 2007 de acordo com o plano de acção para o reforço do abastecimento de água ao Algarve, para um caudal máximo de 600 L/s, esta infra-estrutura oferece uma maior flexibilidade e robustez ao sistema multimunicipal.

3.2. Variabilidade da Oferta Útil de Água

3.2.1. Descrição da oferta e da procura

Segundo estudos desenvolvidos sobre a hidrologia do Algarve, estima-se que o escoamento total anual na região do Algarve, superficial e subterrâneo, seja o equivalente a 1000hm³/ano (Loureiro e Nunes, 1980; Trac, 1981; INAG, 1995; Monteiro, 2005).

De acordo com o INAG, a capacidade média de regularização das cinco principais albufeiras (Arade, Funcho, Odeleite, Beliche e Bravura) é de 170 hm³/ano, para uma capacidade total de aproximadamente 267 hm³, e a recarga dos principais aquíferos é de 260 hm³/ano (Monteiro, 2005). No Quadro 2, mostra-se a distribuição do escoamento no Algarve e a sua contribuição para a recarga dos aquíferos e origens de água superficiais. Apenas 39% do escoamento total corresponde à recarga efectiva das massas de água que constituem as ofertas úteis de água para os diversos usos.

Quadro 2 – Distribuição do escoamento total no Algarve segundo trabalhos de vários autores (Loureiro e Nunes, 1980; Trac, 1981; INAG, 1995; Monteiro, 2005).

<i>Componente</i>	<i>Valor (hm³/ano)</i>	<i>Valor (%)</i>
Escoamento Total	1000	100
Escoamento Subterrâneo Maciço Antigo	168 – 360	17 – 36
Recarga Aquíferos indiferenciados	?	?
Escoamento Subterrâneo na Orla Sedimentar	170 – 342	17 – 34
Recarga 17 Aquíferos Principais (A)	216	22
Escoamento Superficial	298 – 662	30 – 66
Recarga 5 Albufeiras (B)	170	17
<i>Oferta Útil (A+B)</i>	<i>386</i>	<i>39</i>

reservatórios municipais abastecidos (pontos de entrega, PE) também tem vindo a aumentar, Figura 3.

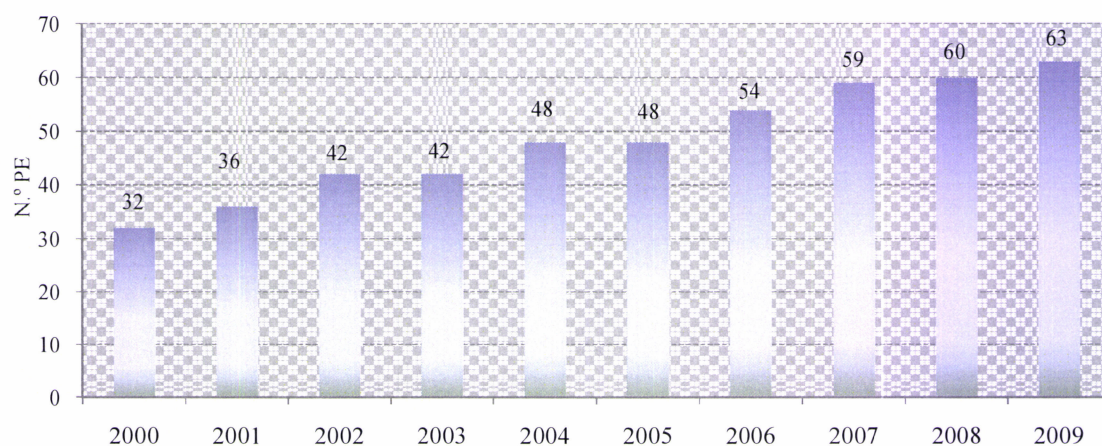


Figura 3 – Evolução do número de reservatórios municipais abastecidos pelo SMAAA.

Como consequência o volume de água fornecido aos municípios também aumentou, ultrapassando no ano de 2009 os 71Mm³ (Figura 4). É possível observar na Figura 4 as consequências no SMAAA da seca registada no ano hidrológico 2004-2005, e que cobriu a quase totalidade do território do continente português. Na sequência desse evento, o SMAAA deixou de fornecer aos municípios mais de 10 Mm³ de água.

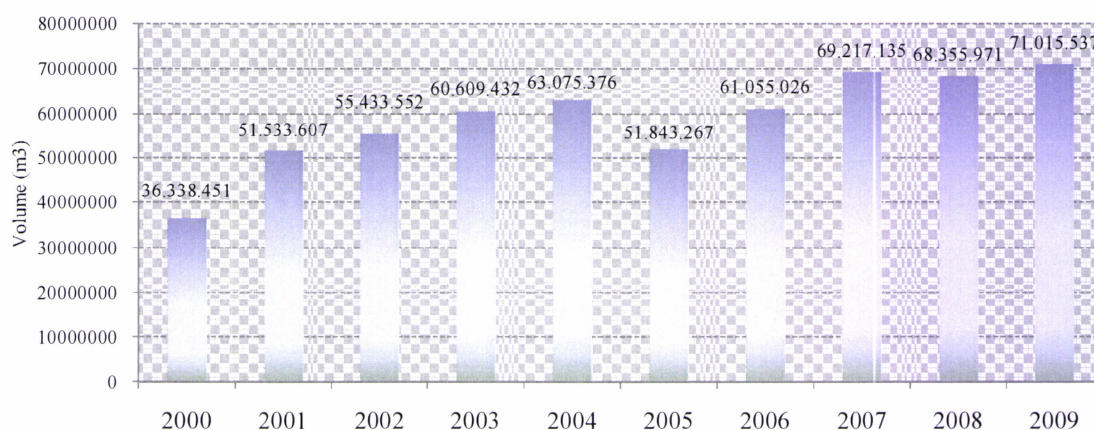


Figura 4 – Evolução do volume fornecido pelo SMAAA aos municípios.

O forte efeito da sazonalidade faz-se sentir no consumo de água na região, não só devido ao aumento das temperaturas nos meses de verão, mas também à grande afluência de pessoas durante esses meses, apresentando um factor de ponta mensal de cerca de 1,60 – relação entre o mês de maior consumo e o consumo médio anual.

Na Figura 5 é apresentada a variação mensal da água fornecida para o ano de 2008 e de 2009. Pode observar-se o ligeiro aumento do volume de água fornecido a partir do mês de Abril, que atinge o seu pico variavelmente entre Julho e Agosto, e começando a diminuir mais acentuadamente a partir de Setembro.

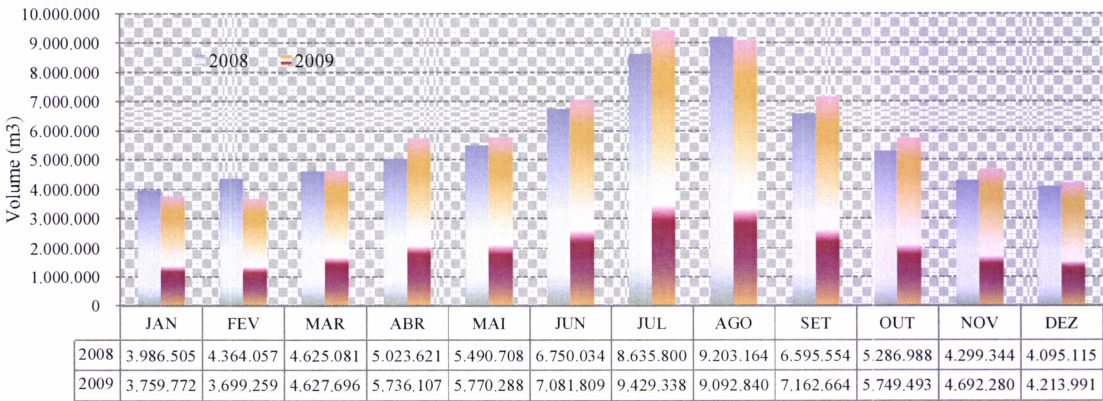


Figura 5 – Variação do volume fornecido pelo SMAAA ao longo do ano, para os anos 2008 e 2009.

Na figura seguinte apresenta-se a distribuição do volume de água fornecido pelo SMAAA no ano de 2009, para os quinze municípios abrangidos.

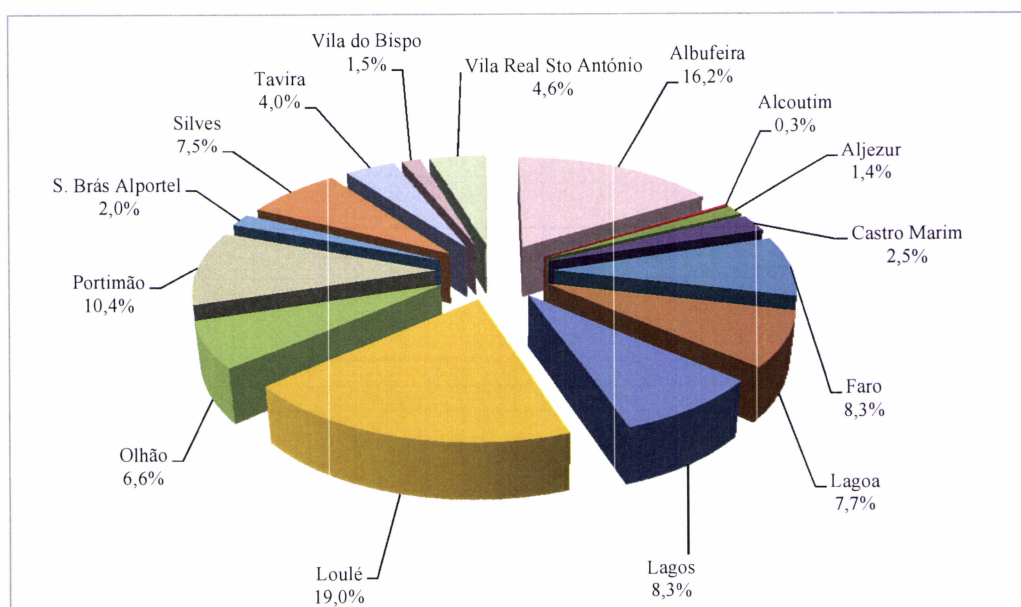


Figura 6 – Distribuição do volume de água fornecido em 2009 pelo SMAAA aos municípios abrangidos.

Segundo dados apresentados no EVEF do SMAAA a população residente actualmente coberta pelo SMAAA é de 393 487 habitantes com uma captação média ponderada 188L/hab/dia, e a população flutuante servida, presente cerca de 90 dias/ano, corresponde a 806 204. Para o final da concessão do SMAAA, em 2037, o EVEF estima que o SMAAA abasteça uma população residente de 457 325 habitantes e 941 424 de população flutuante, com uma captação média estimada de 190 L/hab/dia. Esta evolução conduzirá ao aumento do volume extraído pela AdA nas origens de água disponíveis. O referido EVEF prevê para final da concessão (2037) que o SMAAA esteja a abastecer um volume de água que possa atingir os 90Mm³. Este cenário do aumento do volume de água a fornecer poderá exigir muito provavelmente, face a possíveis cenários de AC, a definição de origens de água alternativas, que assegurem o abastecimento contínuo e com água de qualidade perante situações de carência hídrica na região.

3.2.2. Avaliação da disponibilidade hídrica superficial

3.2.2.1. Método e dados de entrada

Foi estimada a disponibilidade hídrica nas cinco albufeiras que servem de origem de água ao SMAAA, nomeadamente Bravura, Odelouca, Funcho, Odeleite e Beliche. A disponibilidade hídrica foi estimada através da aplicação do modelo hidrológico conceptual e agregado, o Modelo Temez, às bacias hidrográficas nas secções de referência relativas à implantação das barragens de modo a quantificar o escoamento superficial afluente às albufeiras e o balanço de água aplicado às albufeiras.

Todos os modelos de balanço hidrológico têm como variáveis de entrada, a Precipitação e a Evapotranspiração Potencial. Através de operações de modelação, são obtidas informações sobre os parâmetros intermédios de transformação da precipitação em escoamento, como sejam o Excedente Hídrico e a Humidade no Solo.

O Modelo Temez permite simular o escoamento superficial e subterrâneo na bacia, reproduzindo os processos essenciais de transporte de água entre as diferentes componentes do ciclo hidrológico.

O Modelo possui quatro parâmetros, as variáveis intermédias, que são estimados através de um processo de calibração em que se procura reproduzir situações históricas. Os parâmetros a calibrar são a capacidade máxima de humidade no solo (H_{max}), o parâmetro do excedente (C), a capacidade máxima de infiltração no solo (I_{max}) e o coeficiente de descarga do aquífero (α).

O modelo considera o solo dividido em duas zonas: a camada superior, não saturada, onde coexistem água e ar nos vazios; e a camada inferior, o aquífero que se encontra saturado de água, funcionando como um reservatório subterrâneo que descarrega na rede superficial de drenagem (rede hidrográfica) na forma de escoamento de base, como se ilustra na figura seguinte.

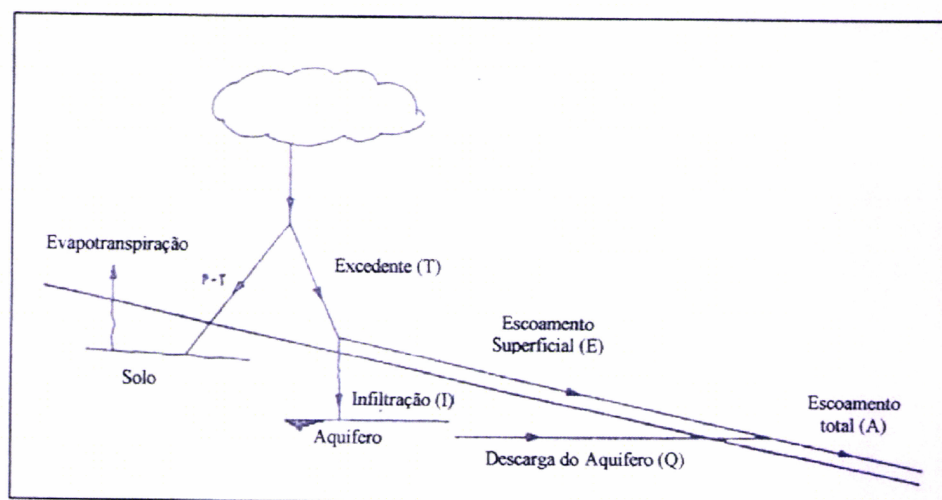


Figura 7 – Esquema do funcionamento do Modelo Hidrológico Temez (Moreira, 2009).

O reservatório da zona não saturada recebe água por precipitação e perde por evapotranspiração e por excesso de armazenamento. Do excesso de armazenamento deste reservatório, parte escoa superficialmente e o restante infiltra para o reservatório da zona saturada. Relativamente ao reservatório da zona saturada, recebe água por infiltração e perde por esgotamento do aquífero, correspondendo esta perda a contribuição para o escoamento na linha de água na forma de escoamento de base.

O escoamento total na linha de água, na secção de referência, corresponde à soma das contribuições dos dois reservatórios, nomeadamente o escoamento superficial (escoamento directo) e o esgotamento do aquífero (escoamento de base).

Foram utilizados os parâmetros de calibração, para o Modelo Temez, obtidos em estudos hidrológicos anteriores solicitados pela AdA à Universidade do Algarve, e que se apresentam no Quadro 3.



Quadro 3 – Parâmetros do Modelo hidrológico Temez a utilizar na geração das afluentes a cada albufeira (fonte: Universidade do Algarve, 2009).

<i>Parâmetros</i>	<i>Bravura</i>	<i>Odelouca</i>	<i>Funcho</i>	<i>Odeleite</i>	<i>Beliche</i>
C	0,03	0,91	0,08	0,09	0,6
Hmax (mm)	188,3	146,6	188,3	157,0	38,0
Imax (mm)	10,0	24,6	16,2	56,08	30,0
α (dia ⁻¹)	0,032	0,016	0,026	0,042	0,05

Nota: As afluentes naturais à albufeira do Beliche são proporcionais às afluentes na albufeira de Odeleite, em que o coeficiente de proporcionalidade é a relação entre as áreas das bacias hidrográficas na secção de referência das barragens.

As estações meteorológicas usadas para o cálculo da precipitação ponderada sobre as bacias hidrográficas são as apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Estações meteorológicas e coeficientes de Thiessen utilizados no cálculo da precipitação ponderada sobre as bacias hidrográficas (fonte: Universidade do Algarve, 2009).

<i>Albufeira</i>	<i>Estação meteorológica</i>	<i>Coeficientes de Thiessen</i>
Bravura	Bravura (30E/03C – 30E/03F)	1,00
Funcho	São Bartolomeu Messines (30H/03UG)	0,50
	São Marcos da Serra (29G/02G)	0,50
Odeleite + Beliche	Barranco do Velho (30J/01UG)	0,24
	Mercador (30K/01UG)	0,73
	São Brás Alportel (31J/01C)	0,03
Odelouca	Alferce (30G/01UG)	0,04
	Monchique (30F/01C)	0,19
	São Barnabé (29I/01UG)	0,38
	São Marcos da Serra (29G/02G)	0,39

Para o cálculo da temperatura média foram seleccionadas as estações meteorológicas que possam representar as bacias hidrográficas em estudo. A temperatura média na bacia hidrográfica foi calculada com base no Método de Thiessen. No Quadro 5 apresentam-se as estações meteorológicas com registo de temperatura diária aplicadas para o cálculo da temperatura média.

Quadro 5 – Estações meteorológicas utilizadas para o cálculo da temperatura média (fonte: Universidade do Algarve, 2009).

<i>Albufeira</i>	<i>Estação Meteorológica</i>
Bravura	Barragem da Bravura (30E/03C) Monchique (30F/01C)
Odelouca	Barragem do Arade (30G/03C) Monchique (30F/01C) Sta. Clara-a-Nova (29I/02C)
Funcho	Santana da Serra (28H/03UG) Barragem do Arade (30G/03C)
Odeleite e Beliche	Martinlongo (29K/01C) S. Brás de Alportel (31J/01C)

No relatório final do estudo realizado para a AdA (Universidade do Algarve, 2009), a evapotranspiração foi calculada para o ano médio, por escassez de dados de insolação, humidade do ar e vento, tendo sido utilizado o método Penman Monteith. No entanto, foi possível distinguir duas séries de parâmetros meteorológicos, uma para barlavento e outra para sotavento. No Quadro 6 são apresentados os valores de evapotranspiração média mensal utilizados no cálculo do escoamento.

Quadro 6 – Evapotranspiração potencial mensal média na secção de referência de cada barragem, mm (fonte: Universidade do Algarve, 2009).

<i>Evapotranspiração potencial mensal média (mm)</i>				
<i>Mês</i>	<i>Bravura</i>	<i>Odelouca</i>	<i>Funcho</i>	<i>Odeleite e Beliche</i>
Janeiro	44,07	42,58	51,09	48,63
Fevereiro	54,30	52,51	39,74	38,83
Março	91,12	87,36	54,53	49,30
Abril	118,43	114,68	84,44	77,92
Maio	161,26	160,30	133,18	130,40
Junho	183,27	187,93	184,22	180,18
Julho	210,07	218,77	234,54	245,10
Agosto	194,66	204,13	232,89	231,71
Setembro	137,74	138,62	173,01	177,78
Outubro	91,49	88,29	137,00	143,77
Novembro	56,63	54,60	94,64	88,60
Dezembro	42,30	38,75	69,09	66,45

As séries de escoamento aplicadas na calibração e validação do modelo foram as referentes a cinco estações hidrométricas monitorizadas pelo Instituto da Água e em que são registados os caudais afluentes a cada uma das albufeiras utilizadas pelo SMAAA.

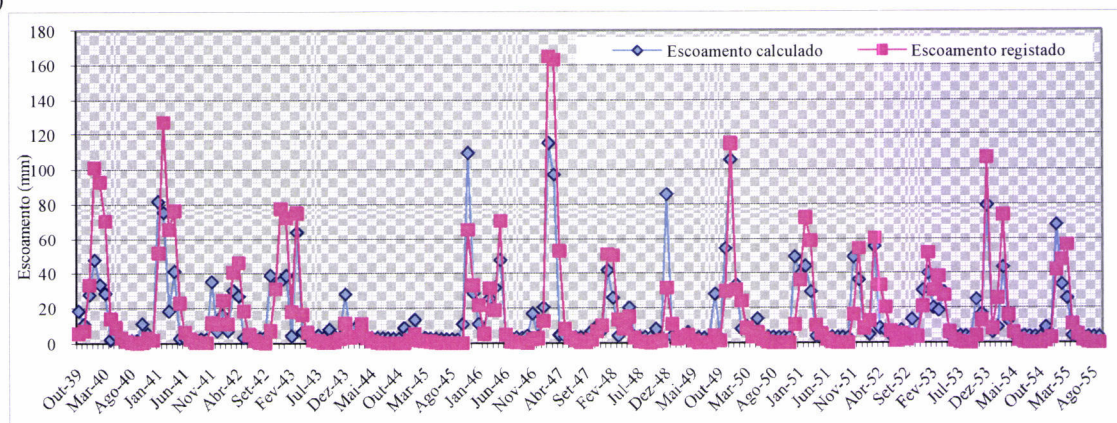
Quadro 7 – Características das bacias hidrográficas (fonte: INAG).

<i>Albufeira</i>	<i>Área Total (km²)</i>	<i>Altitude mínima (m)</i>	<i>Altitude máxima (m)</i>	<i>Declive médio (%)</i>	<i>Comprimento linha água (m)</i>	<i>Declive linha água (%)</i>
Beliche	98,47	33	494	12,70	32,30	1,30
Bravura	76,58	70	554	15,90	16,60	2,50
Funcho	212,59	70	533	15,40	41,70	0,80
Odeleite	347,51	27	541	16,40	79,20	0,60

3.2.2.2. Modelação dos caudais afluentes à albufeira da Bravura

A série de escoamento registada na estação da Bravura, equivalente ao caudal que aflui à albufeira da Bravura, corresponde a uma série ininterrupta entre Outubro de 1939 e Setembro de 1969. A comparação entre os valores de escoamento mensal registados e calculados, com a aplicação do Modelo Temez à bacia hidrográfica relativa à secção de referência na estação hidrométrica, permite concluir haver uma representação razoável do escoamento observado, através do modelo hidrológico calibrado, para essa secção, Figura 9.

a)



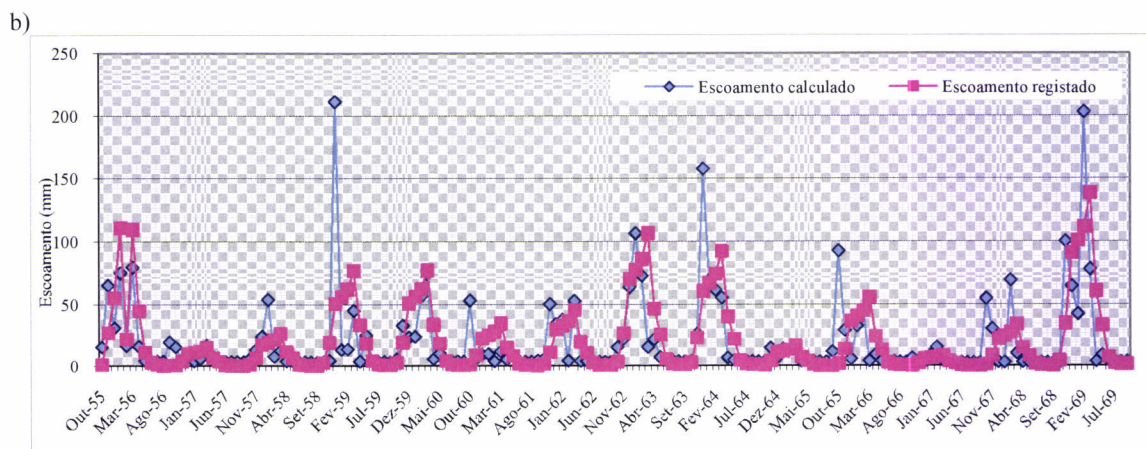


Figura 9 – Escoamento registrado e calculado na estação da Bravura: a) Outubro de 1939 a Setembro de 1955; b) Outubro de 1955 a Setembro de 1969.

Verifica-se, que o escoamento mensal calculado é subestimado nos meses de Fevereiro, Março e Abril e sobre-estimado nos meses de Outubro e Novembro, esta tendência é mais acentuada a partir do ano de 1957, Figura 10.

Os parâmetros de calibração para o melhor ajuste à série observada foram os apresentados no Quadro 3, resultantes da calibração efectuada no estudo da Universidade do Algarve.

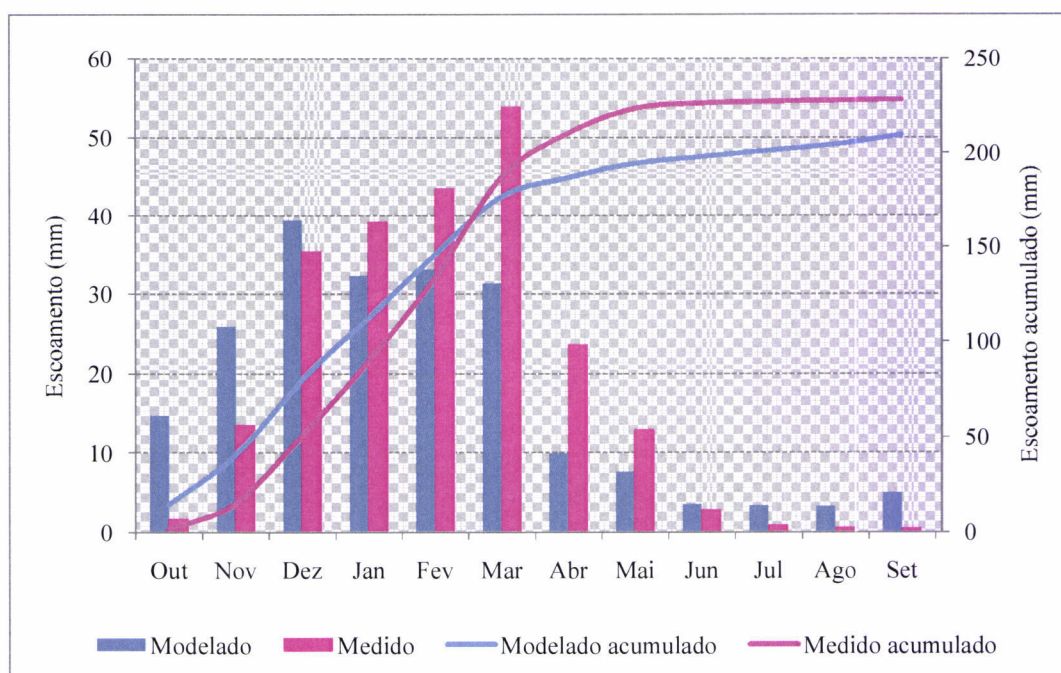


Figura 10 – Ano médio de escoamento calculado e registado na estação hidrométrica da Bravura.

Como pode ver-se na Figura 10, no ano médio o escoamento calculado acumulado mantém-se superior ao registado acumulado até ao mês de Março, sendo que a partir daí a situação se inverte, chegando ao final com uma diferença de 20mm. O escoamento registado, após período seco, apresenta menor valor que o calculado pelo modelo, pelo que se interpreta que a capacidade de infiltração do solo aumenta à medida que aumenta a humidade no solo e é inferior à infiltração teórica em situação de solo seco.

É apresentada na Figura 11 a correlação, entre o escoamento mensal médio resultante da modelação e o registado para a bacia hidrográfica de Bravura. Observa-se que modelo consegue fazer apenas uma representação aproximada do registado.

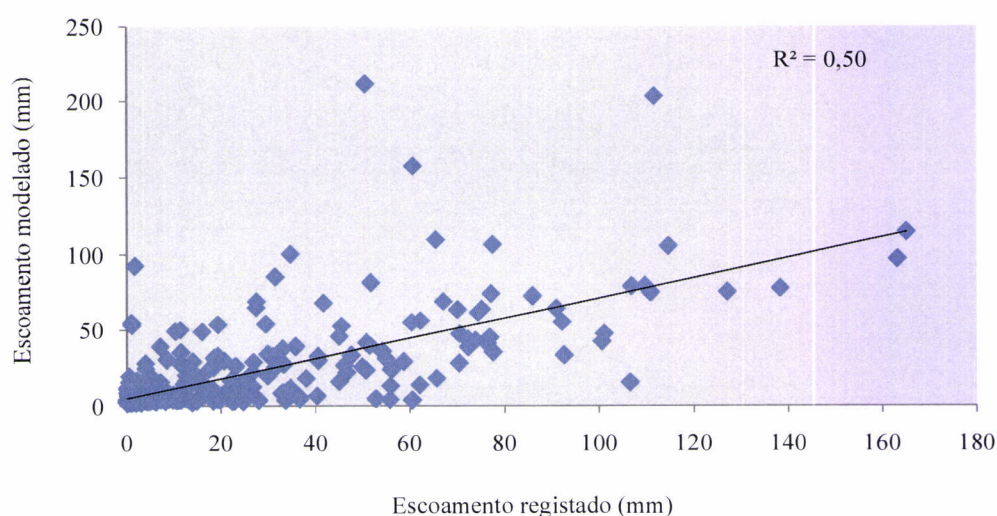


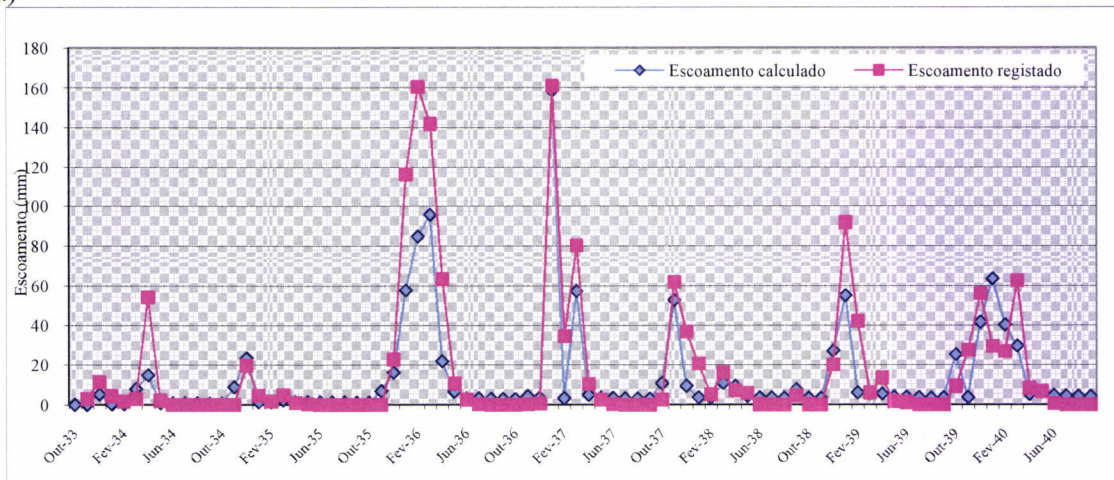
Figura 11 – Correlação entre o escoamento mensal médio calculado e o registado na estação hidrométrica da Bravura.

3.2.2.3. Modelação dos caudais afluentes à albufeira do Funcho

A série de escoamento registada pela estação de Casa Queimada, equivalente ao caudal que aflui à albufeira do Funcho, corresponde a uma série ininterrupta entre Dezembro de 1933 e Setembro de 1952. Nas Figuras 13 e 14 é representada a comparação entre os valores de escoamento

mensal registados e calculados, com a aplicação do Modelo Temiz à bacia hidrográfica relativa à secção de referência na estação hidrométrica.

a)



b)

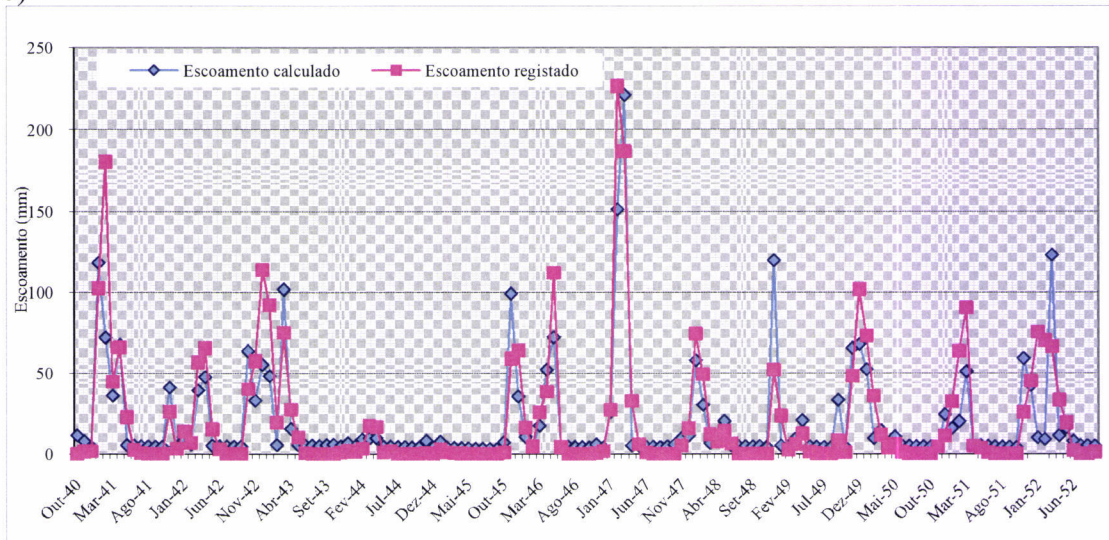


Figura 12 – Escoamento registado e calculado na estação de Casa Queimada: a) Outubro de 1933 a Setembro de 1940; b) Outubro de 1940 a Setembro de 1952.

Os parâmetros de calibração para o melhor ajuste à série observada foram os apresentados no Quadro 3, resultantes da calibração efectuada no estudo da Universidade do Algarve.

Apesar de ambas as séries apresentarem uma variação inter-mensal bastante semelhante, denota-se subestimação do escoamento mensal médio nos meses de Janeiro e Fevereiro e sobre-

estimação nos meses de Julho a Novembro, como se pode observar na figura seguinte, no final a diferença entre os dois acumulados é de 30mm.

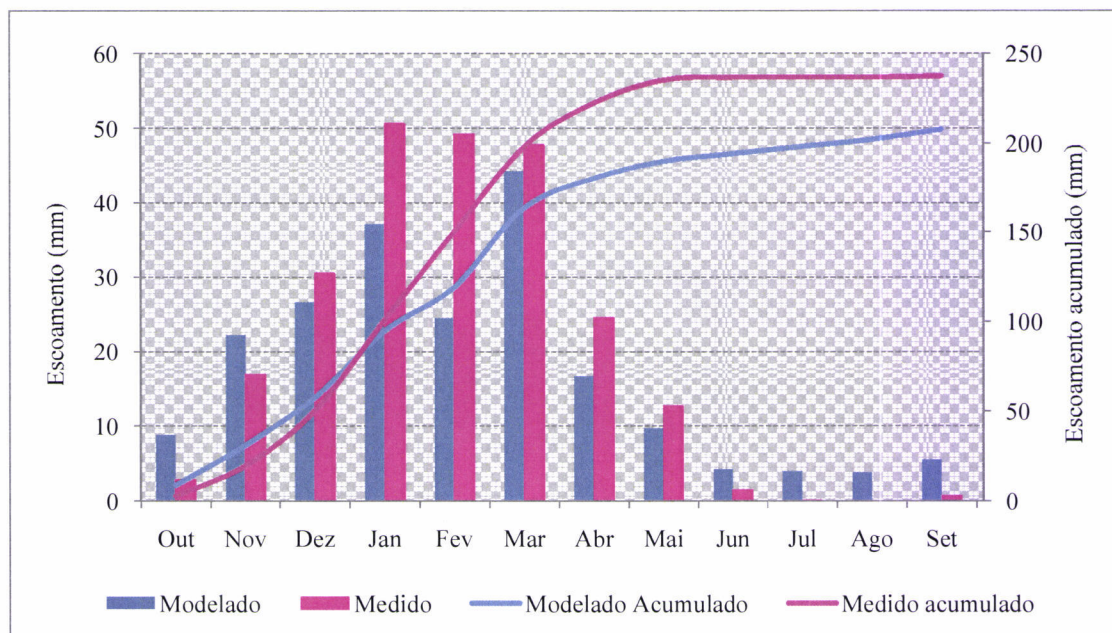


Figura 13- Ano médio de escoamento calculado e registado na estação hidrométrica de Casa Queimada.

Pode verificar-se essa discrepância, entre os resultados de escoamento calculados e os registados, na correlação apresentada na Figura 14.

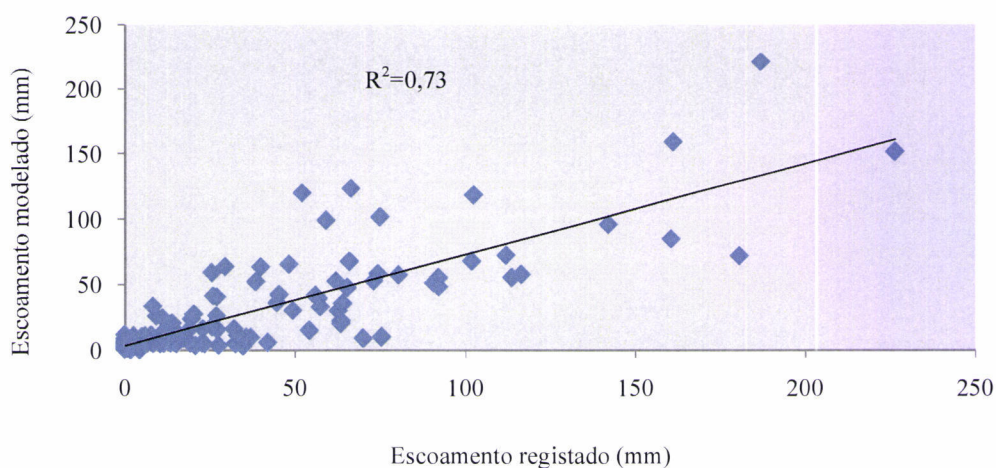
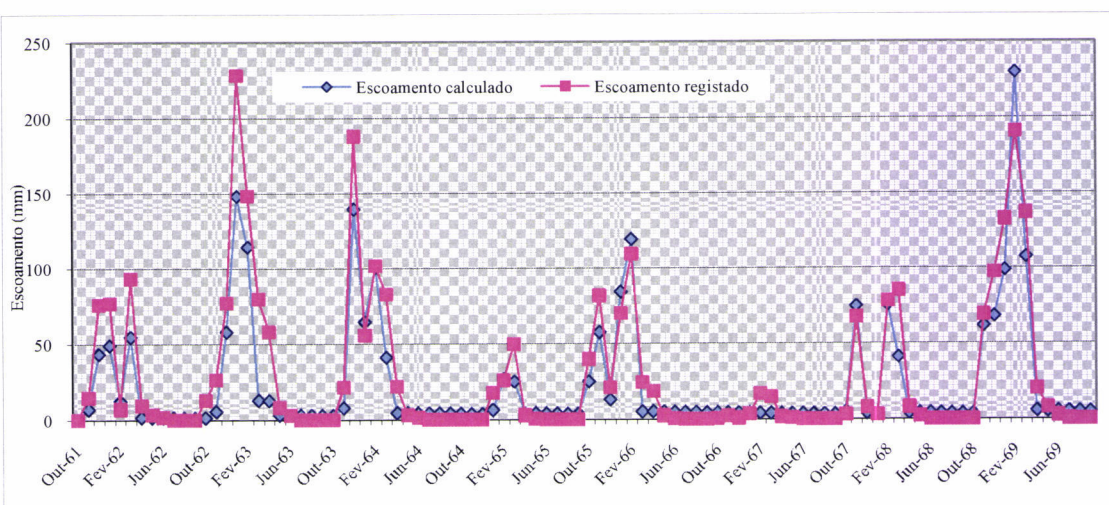


Figura 14 - Correlação entre o escoamento mensal calculado e registado na estação hidrométrica de Casa Queimada.

3.2.2.4. Modelação dos caudais afluentes à albufeira de Odelouca

A série de escoamento de Monte dos Pachecos tem início em Outubro de 1961 e termina em Setembro de 1990, apresentando um período sem dados entre Outubro de 1983 e Setembro de 1984. Considerando esta série, variando entre anos extremamente secos e valores mensais de 600mm, pode concluir-se pela Figura 15 que a série calculada se aproxima significativamente da série registada.

a)



b)

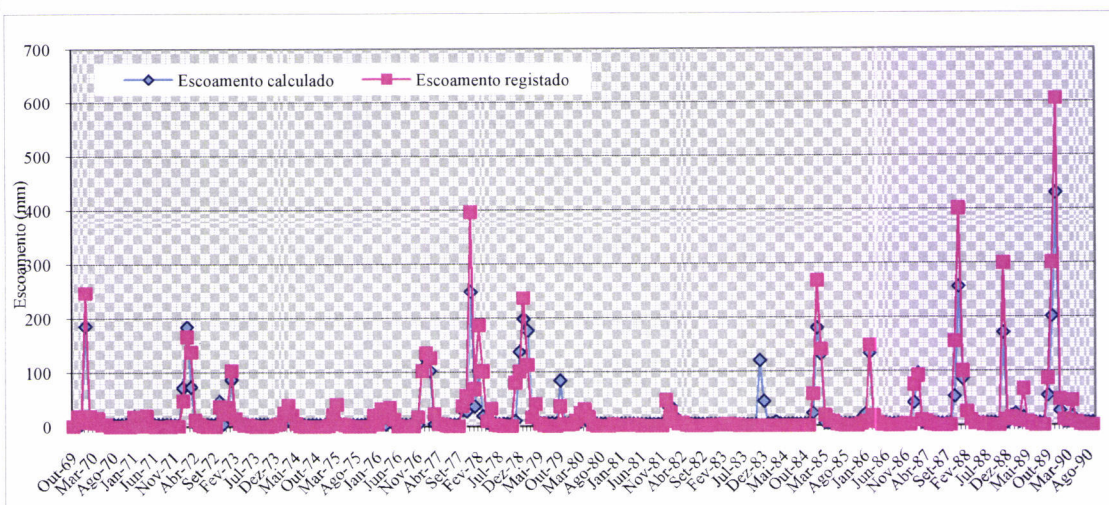


Figura 15 - Escoamento registado e calculado na estação de Monte dos Pachecos: a) Outubro de 1961 a Setembro de 1969; b) Outubro de 1969 a Setembro de 1990.

Os parâmetros de calibração para o melhor ajuste à série observada foram os apresentados no Quadro 3, resultantes da calibração efectuada no estudo da Universidade do Algarve.

Analisando o ano médio verifica-se que no global existe uma subestimação do escoamento calculado nos meses de Inverno, que no final dá uma diferença de 60mm entre o medido e o calculado, Figura 16.

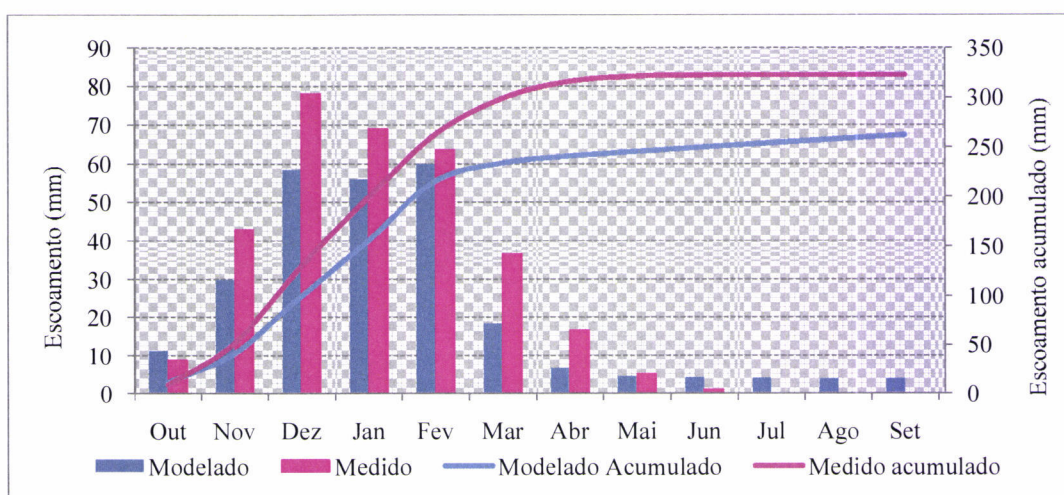


Figura 16 – Ano médio de escoamento calculado e registado na estação hidrométrica de Monte dos Pachecos.

Mas analisando a correlação apresentada na Figura 17, verificamos que existe uma boa aproximação das séries, apresentando um coeficiente de correlação quadrático de 0,89, apesar de existir uma diferença maior entre as duas séries de escoamento.

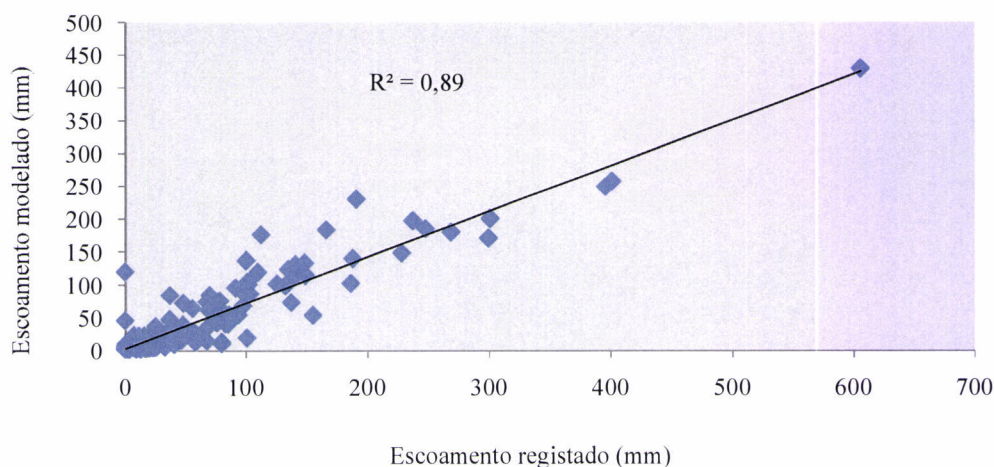


Figura 17 – Correlação entre o escoamento mensal calculado e registado na estação hidrométrica de Monte dos Pachecos.

3.2.2.5. Modelação dos caudais afluentes às albufeiras de Odeleite e Beliche

Das séries modeladas, a série de escoamentos da estação de Monte dos Fortes foi a que apresentava um maior intervalo, abrangendo um período de Dezembro de 1960 a Junho de 2003. Estas séries apresentam um ajuste adequado como se pode observar pelas figuras seguintes.

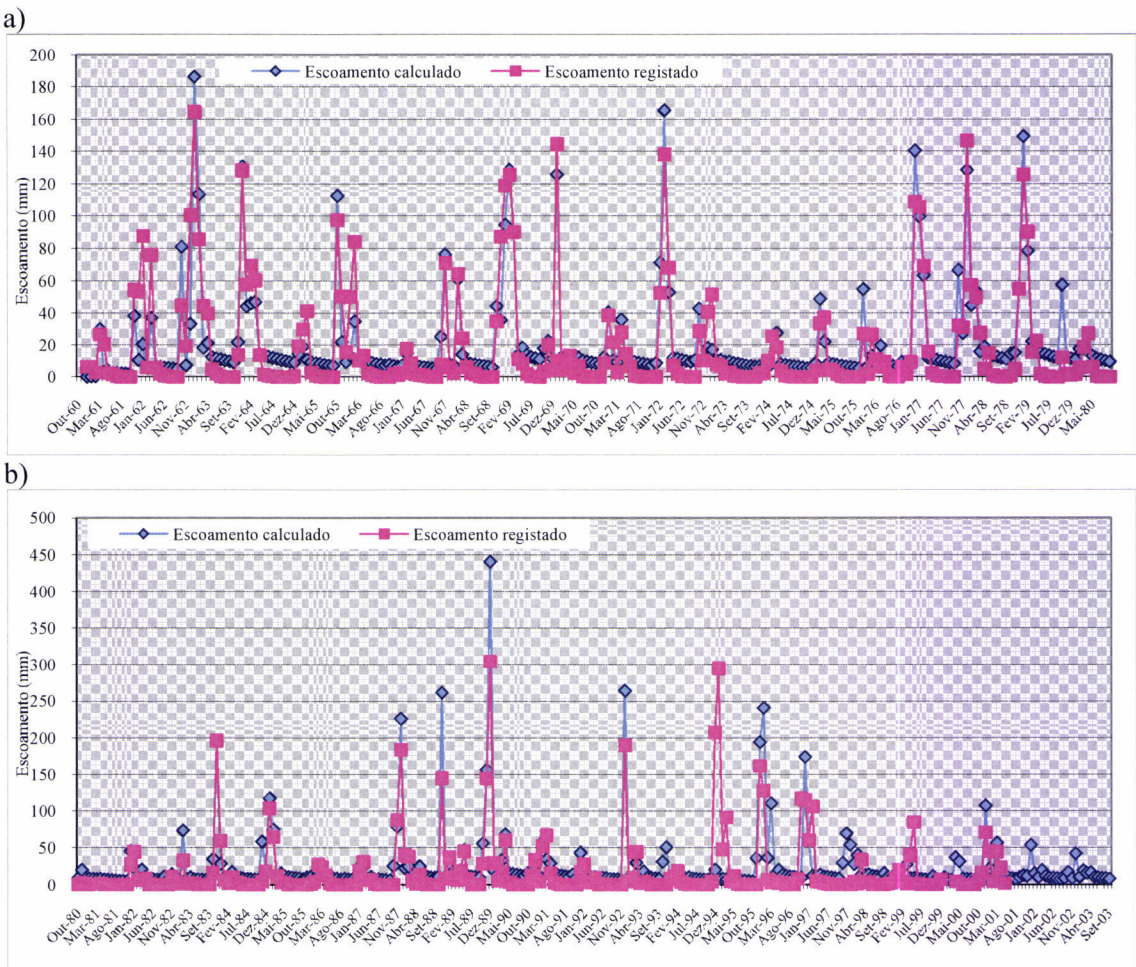


Figura 18 - Escoamento registado e calculado na estação de Monte dos Fortes: a) Outubro de 1960 a Setembro de 1980; b) Outubro de 1980 a Setembro de 2003.

Os parâmetros de calibração para o melhor ajuste à série observada foram os apresentados no Quadro 3, resultantes da calibração efectuada no estudo da Universidade do Algarve.

Na Figura 19, apesar do bom ajuste da série, pode verificar-se que em ano médio, a série calculada apresenta-se sobre-estimada para Outubro, Novembro, Dezembro, Maio, Junho, Julho,

Agosto e Setembro, enquanto que para Janeiro, Fevereiro e Março está subestimada, no final o escoamento acumulado modelado é 60mm superior ao escoamento acumulado medido.

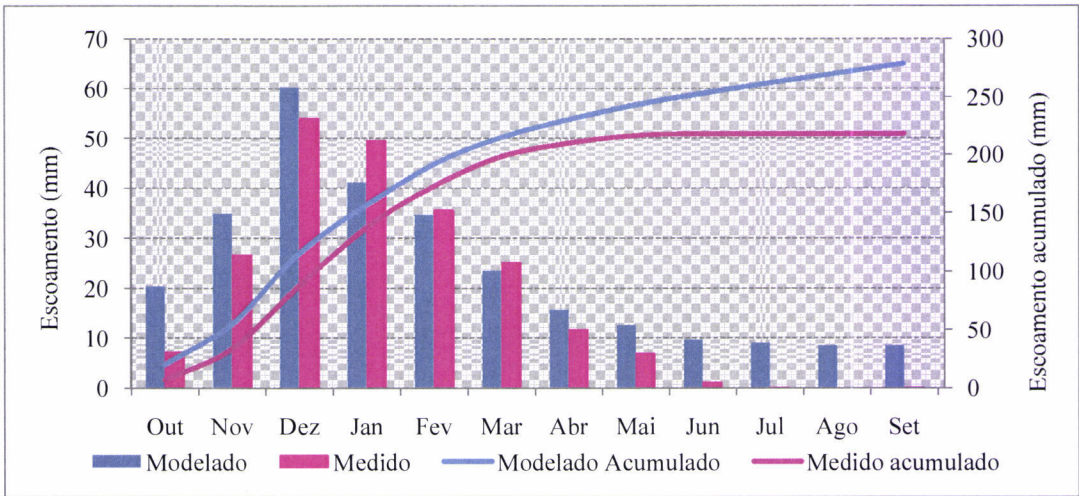


Figura 19 – Ano médio de escoamento calculado registado na estação hidrométrica de Monte dos Fortes.

Na Figura 20 pode-se observar melhor esses desajustes, entre o escoamento acumulado medido e o escoamento acumulado calculado.

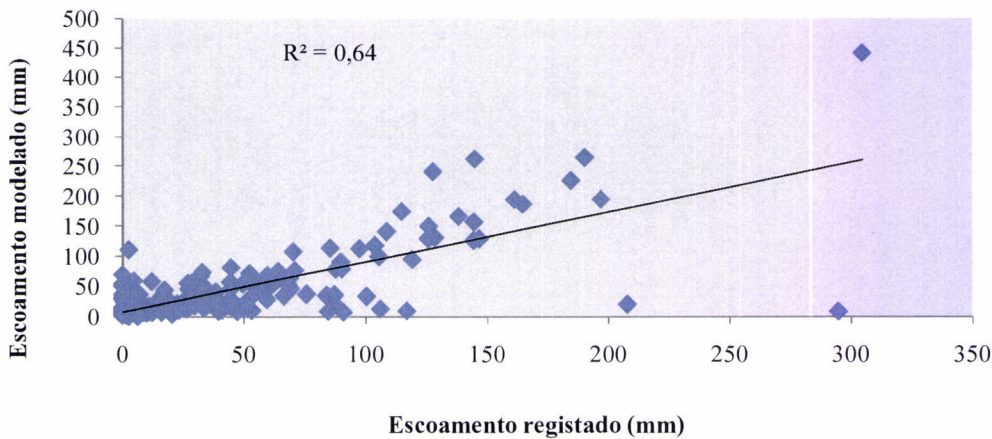


Figura 20 – Correlação entre o escoamento mensal calculado e registado na estação hidrométrica de Monte dos Fortes.

Após a comparação entre escoamento calculado e escoamento registado, pode concluir-se que os parâmetros de calibração do Modelo Temez, determinados no trabalho realizado pela Universidade do Algarve (Quadro 3), não demonstram ser os mais adequados para o melhor ajuste entre as séries.

3.2.3. Balanço hídrico das albufeiras

Neste sub-capítulo é aplicado o balanço de água às albufeiras em estudo para análise da variação do volume armazenado nas albufeiras para o período com registo dos parâmetros meteorológicos e do escoamento.

O princípio da conservação da massa aplicado às albufeiras pode representar-se por:

$$S_{t+1} = S_t + Q_t - D_t - E_t - L_t \quad (1)$$

com a restrição $V_{\text{morto}} \leq S_{t+1} \leq C$

onde:

S_{t+1} – armazenamento no fim do intervalo t ;

S_t – armazenamento no princípio do intervalo t ;

Q_t – afluência no intervalo t ;

D_t – efluência no intervalo t ;

E_t – perda por evaporação a partir do espelho de água no intervalo t ;

L_t – outras perdas;

C – volume útil da albufeira.

A resolução da equação da continuidade aplicada a uma albufeira obriga à introdução das condições iniciais. Neste caso as condições iniciais não são conhecidas pelo que foi arbitrado que a albufeira estava inicialmente cheia, isto é $S_0 = C$. As efluências (D_t) correspondem ao somatórios das séries correspondentes ao consumo público, consumo agrícola e outros usos registados pelo INAG, nas 3 albufeiras analisadas. As afluências Q_t representam a soma do escoamento na secção de referência da bacia hidrográfica e a precipitação sobre a área inundada da albufeira. O caudal ecológico a jusante da albufeira foi considerado igual a 5% do caudal afluente à albufeira. No Quadro 8 apresentam-se as taxas de evaporação utilizadas no cálculo das perdas por evaporação (E_t) das albufeiras analisadas.

Quadro 8 – Taxas de evaporação utilizadas na determinação das perdas por evaporação nas albufeiras, baseadas nos valores médios registados, mm (fonte: INAG).

<i>Albufeira</i>	<i>Bravura</i>	<i>Funcho</i>	<i>Odeleite/Beliche</i>
<i>Estação meteorológica</i>	<i>Bravura (30E/03C)</i> <i>(data: 1949/01 - 2001/09)</i>	<i>Arade (30G/03C)</i> <i>(data: 1962/08 - 1998/09)</i>	<i>Figueiraís (30M/01G)</i> <i>(data: 1945/04 - 1983/09)</i>
Out	64,952	72,585	78,355
Nov	39,490	43,434	48,764
Dez	24,298	28,415	28,697
Jan	25,064	29,137	29,570
Fev	31,046	33,380	36,174
Mar	51,077	58,377	60,191
Abr	81,818	89,429	102,185
Mai	114,444	125,507	147,684
Jun	162,063	172,546	191,804
Jul	305,560	334,478	360,317
Ago	198,053	209,737	218,527
Set	137,340	148,366	150,309

As Figuras 21, 22 e 23 mostram os resultados da simulação da variação do volume armazenado nas albufeiras, para os períodos em que há registo de precipitação. O escoamento afluente à albufeira foi simulado pela aplicação do Modelo Temez.

No quadro seguinte apresentam-se os parâmetros do ajuste linear entre a área inundada na albufeira e o volume de água armazenado, que serviu para determinar a área da superfície inundada, com o objectivo de determinar as perdas por evaporação no cálculo do balanço hídrico das albufeiras.

Quadro 9 - Parâmetros do ajuste linear entre a área superficial inundada, A (ha), e o volume de água armazenada, S (hm3), das albufeiras – $A=a_A +b_A\times S$

<i>Albufeira</i>	<i>Parâmetro</i>	
	<i>a_A</i>	<i>b_A</i>
Beliche	55,274	5,431
Bravura	47,299	7,085
Funcho	37,376	7,118
Odeleite	211,568	3,656

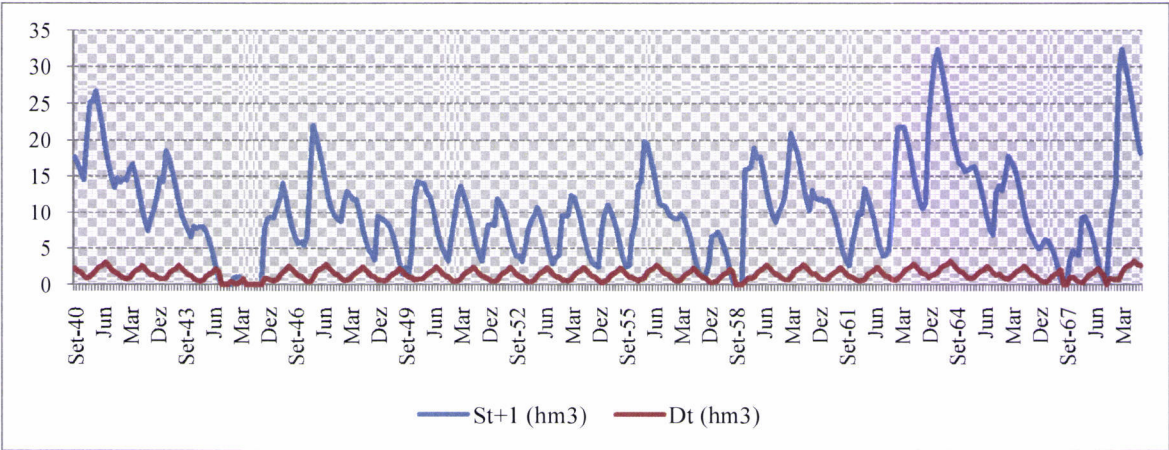


Figura 21 – Variação do volume armazenado na albufeira de Bravura e efluências.

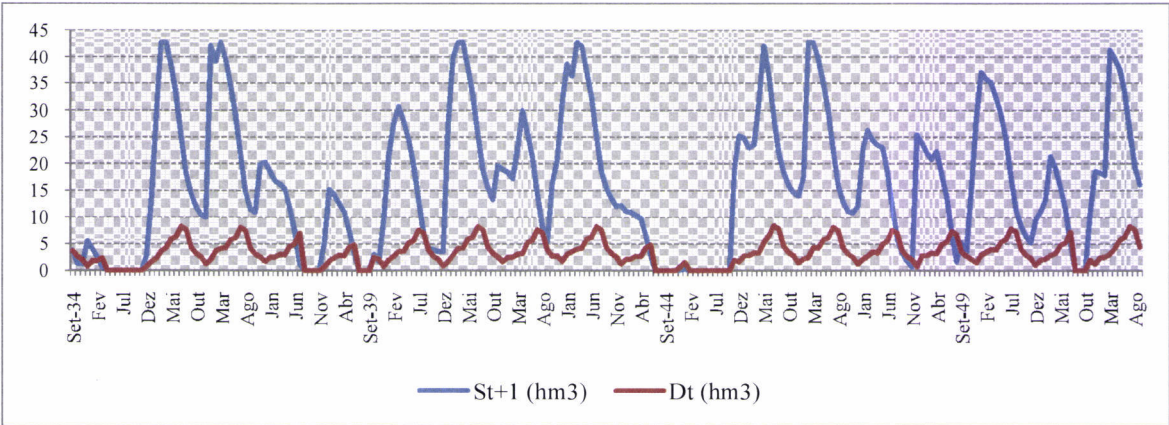


Figura 22 - Variação do volume armazenado na albufeira do Funcho e efluências.

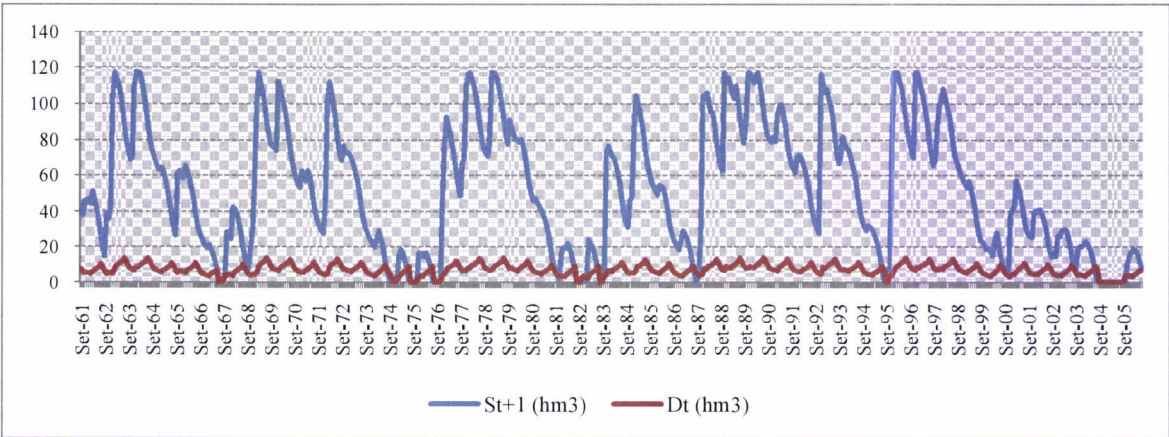


Figura 23 - Variação do volume armazenado na albufeira de Odeleite e efluências.

Pela análise do balanço hídrico efectuado para cada uma das albufeiras, resultados apresentados nos gráficos anteriores, chegou-se à conclusão que o volume mínimo de exploração convencionado pelos concedentes das albufeiras, apresentados no Quadro 10, é atingido apresentando diferentes períodos de retorno (T) para cada uma das albufeiras.

Quadro 10 – Áreas das bacias hidrográficas e volume mínimo de exploração (fonte: INAG e ARBA).

<i>Albufeira</i>	<i>Área da bacia hidrográfica (km²)</i>	<i>Volume mínimo (hm³)</i>
Beliche	98,48	2,670
Bravura	76,58	2,565
Funcho	212,60	1,200
Odeleite	347,51	19,000

Assim sendo, a albufeira de Bravura e Funcho apresentam um T de 4 anos para um armazenamento igual ao volume mínimo de exploração, e na albufeira de Odeleite essa ocorrência apresenta um T de 6 anos.

A existência de um tunel de interligação entre Odeleite e Beliche, permite efectuar uma gestão do volume útil entre estas duas albufeiras, o que permite atenuar os efeitos dos anos hidrológicos menos pluviosos, e transferir o excedente da albufeira de Odeleite para a albufeira de Beliche, quando o poder de encaixe desta assim o permite.

4. PLANO DE CONTINGÊNCIA DO SISTEMA MULTIMUNICIPAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO ALGARVE

O plano de contingência (PC) do SMAAA inclui as principais linhas orientadoras, no que respeita à implementação de acções que visam o desenvolvimento e acompanhamento necessário para garantir o abastecimento público na região do Algarve, face a cenários de contingência.

As origens de água consideradas no PC foram, as albufeiras de Odeleite e Beliche, a albufeira do Funcho, a ensecadeira de Odelouca, a albufeira da Bravura e as captações subterrâneas no aquífero Querença – Silves, quer do perímetro de rega de Vale da Vila quer as de Benaciate, e em situações de contingência, em função da quantidade e qualidade de água disponível nas diferentes origens, são ainda consideradas as captações subterrâneas municipais definidas como estratégicas (Anexo 1).

A activação ou desactivação das captações municipais (propriedade das entidades em baixa) em cenários de contingência será determinada pela AdA, como concessionária exclusiva do abastecimento público na área de influência do SMAAA, ou por outra entidade competente para o efeito, a pedido daquela, e sempre por escrito, às entidades gestoras em baixa.

Foi considerada ainda como hipótese de reforço do SMAAA, a interligação entre as duas sub-regiões de sotavento e de barlavento através da instalação de uma estação elevatória com bombas reversíveis.

O plano determina ainda a estrutura hierárquica e funcional dos intervenientes, internos e externos, chamados a intervir perante a escassez de água para o abastecimento público.

O PC é activado em presença dos seguintes cenários de indisponibilidade de uso dos recursos hídricos (AdA, 2007):

Cenário 1 – Impossibilidade de funcionamento da ETA das Fontainhas;

Cenário 2 – Impossibilidade de funcionamento da estação elevatória reversível para o sistema de barlavento;

Cenário 3 – Utilização do aquífero Querença-Silves apenas em 50%;

Cenário 4 – Impossibilidade de utilização da albufeira do Funcho;

Cenário 5 – Utilização da albufeira do Funcho até $12\text{hm}^3/\text{ano}$;

Cenário 6 – Impossibilidade de utilização da ensecadeira de Odelouca;

Cenário 7 – Utilização da albufeira do Beliche até $15\text{hm}^3/\text{ano}$;

Cenário 8 – Utilização da albufeira do Beliche até $30\text{hm}^3/\text{ano}$;

Cenário 9 – Impossibilidade de funcionamento da estação elevatória reversível para o sistema de sotavento e utilização da albufeira do Beliche até $30\text{hm}^3/\text{ano}$.

Em presença destes cenários e no caso da ocorrência de uma situação potencialmente grave, tal como roturas de condutas, avarias graves no sistema que impeçam o serviço prestado pelo sistema, alterações da qualidade da água que impeçam o seu tratamento adequado ou o abastecimento público de acordo com a legislação em vigor, activa-se para além do PC o Plano de Emergência para o SMAAA. O Plano de Emergência define de uma maneira concreta, simples e objectiva, qual deve ser a actuação de todos os intervenientes na gestão e operação do sistema nas situações preconizadas em cada um dos possíveis cenários de emergência.

A disponibilidade hídrica destas albufeiras é partilhada entre a AdA e outros utilizadores, como sejam as diferentes associações de regantes algarvias. Assim se explicam os limites definidos nos cenários 5, 7 e 8. Em situação de fraca disponibilidade, os concedentes das albufeiras estipulam o volume de água que cada utilizador poderá dispor durante o ano.

O cenário 3 poderá surgir por imposição da Administração da Região Hidrográfica do Algarve, sendo dependente dos níveis freáticos dos aquíferos.

Examinando os cenários, englobados no PC, que possam ser mais potenciados pelos latentes efeitos das AC, temos os cenários 3, 4, 5, 7 e 8. Sendo que os restantes cenários são essencialmente resultado de falhas mecânicas nas próprias infra-estruturas.

Confrontando os resultados obtidos no capítulo anterior com os cenários exposto, verificamos que actualmente, a probabilidade do cenário 4 ocorrer é de 4 anos.

O Plano de Contingência foi aprovado em 15 de Março de 2005 e revisto e aprovado em 15 de Maio de 2007, é válido no período pré – Odelouca, será novamente revisto e adaptado quando a exploração da albufeira de Odelouca tiver o seu início.

5. IMPACTO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NO SISTEMA MULTIMUNICIPAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO ALGARVE E MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

5.1. Introdução

Neste capítulo são avaliados os impactos das alterações climáticas no SMAAA e a tomada de decisão de medidas de adaptação a implementar. Foi feita uma análise dos resultados dos modelos de clima através das séries de precipitação e temperatura projectadas para os cenários climáticos futuros.

Os cenários climáticos projectam uma representação do clima futuro com base em cenários de emissões de GEE e aerossóis, que representam as emissões futuras de acordo com diferentes percursos de desenvolvimento das sociedades humanas.

5.2. Variabilidade da precipitação e temperatura nos últimos anos

Segundo registos do Instituto de Meteorologia, a década de 2000-2009 foi a mais seca nas últimas quatro décadas. A precipitação anual média diminuiu e a temperatura média aumentou gradualmente da década de 1970-1980 até à década de 2000-2009. Verificou-se, assim, desde o ano 1970 um decréscimo na precipitação anual média do país, de 939 mm na década de 70 para 779 mm na década de 2000, correspondendo a uma perda na precipitação anual média de cerca de 160 mm (I.M., 2010). A redução da precipitação foi significativa no fim do inverno e início da primavera, especialmente no mês de Março, acompanhada por aumentos muito ligeiros nas outras estações do ano (I.M., 2010).

Os últimos 30 anos foram especialmente pouco chuvosos no continente português, em comparação com os valores médios do período de 1971-2000. De referir ainda que o ano de 2005 foi o mais seco dos últimos 79 anos, seguido de 2007 e 2004 (I.M., 2010).

No Quadro 11, apresentam-se as situações de seca e a sua severidade, registadas entre o ano 1980 e o ano 2000 em Portugal.

Quadro 11 - Situações de seca nas regiões do Norte, Centro e Sul, desde 1980 (fonte: I.M.).

<i>Seca</i>	<i>Região Norte/Centro</i>		<i>Região Sul</i>	
1980 – 81	fraca a severa	Dez 80 a Fev 81	moderada a extrema	Dez 80 a Dez 81
1991-92-93	fraca a extrema	Nov 91 a Mar 93	fraca a extrema	Nov 91 a Mar 93
1994-95	fraca a extrema	Mar 95 a Out 95	moderada a extrema	Dez 94 a Out 95
1998-99	moderada a extrema	Out 98 a Fev 99	moderada a severa	Out 98 a Jun 99
1999-2000	fraca a severa	Jan 00 a Mar 00	moderada a extrema	Dez 99 a Mar 00

No Quadro 12 apresenta-se a evolução das temperaturas nos últimos sete anos em Portugal continental, e a sua comparação com a temperatura média do ar dos anos 1961 a 1990, segundo os dados disponíveis no sítio da internet do Instituto de Meteorologia.

Quadro 12 – Evolução das temperaturas médias dos últimos 7 anos em relação ao valor médio do período de controlo 1961 – 90 (dados do I.M.).

<i>Variável</i>	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Valor médio 1961-1990
Média T max (°C)	21,10	21,10	21,55	21,27	20,90	20,30	21,09	20,19
Média T min (°C)	10,50	10,40	9,68	10,81	9,70	9,60	10,25	9,75
T median (°C)	15,80	15,80	15,60	16,04	15,30	14,90	15,09	15,00

Da análise do quadro anterior verifica-se que tanto a temperatura média máxima anual como a temperatura média mínima anual, na quase totalidade dos últimos sete anos, são superiores às médias registadas entre 1961 e 1990. O que é bem ilustrativo de que nestes últimos anos, a temperatura tem vindo a aumentar no nosso país.

Adicionalmente, as principais tendências de evolução climática disponíveis para a região algarvia, embora considerando o grau de incerteza das modelações utilizadas, apontam genericamente para um aumento da frequência e severidade dos períodos de seca (Santos *et al.*, 2002).

Isto deve-se em primeiro lugar à tendência clara para um aumento da temperatura, da insolação e da concentração da precipitação em apenas poucos meses do ano, o que irá gerar maiores valores de evapotranspiração, reduzido assim a oferta útil de água.

5.3. Cenários Climáticos Futuros

Os cenários de alteração futura do clima são traçados usando modelos globais de clima (GCM). Um GCM consiste numa representação matemática do sistema climático, baseado em leis físicas tais como o princípio da conservação da massa, da energia e da quantidade de movimento, apresenta-se com uma resolução espacial, típica em latitude na geração actual de modelos, de cerca de 300 km (Goodess, 2008).

A fiabilidade das projecções de possíveis climas futuros fornecidos pelos GCM depende em grande parte dos cenários relativos às emissões dos principais GEE. Estes cenários de emissões são baseados em pressupostos incertos sobre desenvolvimentos socioeconómicos e tecnológicos futuros, o que acarreta alguma imprevisibilidade às projecções climáticas.

A resolução espacial dos GCM não permite a avaliação dos impactos das AC à escala local. É, assim, necessário arranjar uma forma de descer de escala, para transformar a informação de grande escala dos GCM em escala regional dando origem aos modelos regionais de clima (RCM).

A UE financiou um projecto denominado “PRUDENCE” que terminou no ano 2005, onde foram executadas simulações, para 1961-1990 e 2071-2100 a uma resolução de 50 km para a Europa.

Foi aplicada uma metodologia dinâmica para descer da escala de um GCM para um RCM. Nesse método, segundo Goodess (2008), é acolhido dentro do GCM mais grosseiro um modelo regional. O RCM corre para um domínio mais pequeno a para uma resolução mais elevada da malha. As condições de fronteiras são obtidas no GCM, e o modelo regional é forçado com a

circulação em grande escala, como por exemplo a temperatura da superfície do mar e outras variáveis do GCM.

As projecções dos modelos de clima (apresentadas em seguida) foram materializadas em séries de precipitação diária e temperatura média diária de três RCM forçados por dois GCM desenvolvidos por instituições que colaboraram no projecto “PRUDENCE” (Christensen, 2005), Quadro 13. A resolução espacial dos RCM obtidos é perto de 50 km (resolução de grelha de 0,44° – 0,50°).

Quadro 13 – GCM e RCM considerados no projecto “PRUDENCE”.

<i>Acrónimo</i>	<i>Instituição</i>	<i>Modelo</i>
GCM		
HC	Hadley Center for Climate Prediction and Research, Exeter, UK	HadAM3
MPI	Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, Germany	ECHAM4/OPYC
RCM		
DMI	Danish Meteorological Institute, Copenhagen, Denmark	HIRHAM
HC	Hadley Center for Climate Prediction and Research, Exeter, UK	HadRM3P
SMHI	Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden	RCAO

A integração dos RCM, considerando as condições fronteiras dos GCM, encontram-se disponíveis para 30 anos correspondentes ao período entre 1961 e 1990 (período de controlo) e ao período entre 2071 e 2100 (período de cenário). Todos os RCM consideram as condições de fronteira do GCM HadAM3. As integrações com as condições de fronteira do GCM ECHAM4 estão disponíveis para dois RCM (RCAO e HIRHAM) (Mourato, 2009).

Os modelos regionais climáticos e respectivo acrónimo utilizados no presente trabalho, são apresentados no Quadro 14.

Quadro 14 – Combinações de GCM e RCM e respectivos acrónimos.

<i>Instituição</i>	<i>RCM</i>	<i>GCM</i>	<i>Acrónimo</i>
Danish Meteorological Institute	HIRHAM	ECHAM4/OPYC A2	DMI.ecsA2
		HadAM3H A2	DMI.HSI
Hadley Center – UK Met Office	HadRM3P	HadAM3P A2	HC.adhfa
		HadAM3H A2	SMHI.HCA2
Swedish Met. and Hyd. Institute	RCAO	ECHAM4/OPYC A2	SMHI.MPIA2

As simulações dos modelos regionais de clima HIRHAM e RCAO são para 30 anos (1961-1990) com 12 meses e cada mês com 30 dias. Os resultados do modelo regional de clima HadRM3P encontram-se disponíveis para 31 anos (1960-1990) com 12 meses e cada mês com 30 dias (Mourato, 2009).

A metodologia usada para obter as séries respeitantes ao período de cenário, que permitirão chegar à avaliação da disponibilidade dos recursos hídricos futura, encontra-se esquematizada na Figura 24.

No presente trabalho usaram-se os dados diários de séries de temperatura e precipitação para o período cenário, que foram posteriormente aplicadas no modelo TEMEZ para obter as séries de escoamento superficial, para o período cenário, nas secções relativas às albufeiras utilizadas actualmente pelo SMAAA.

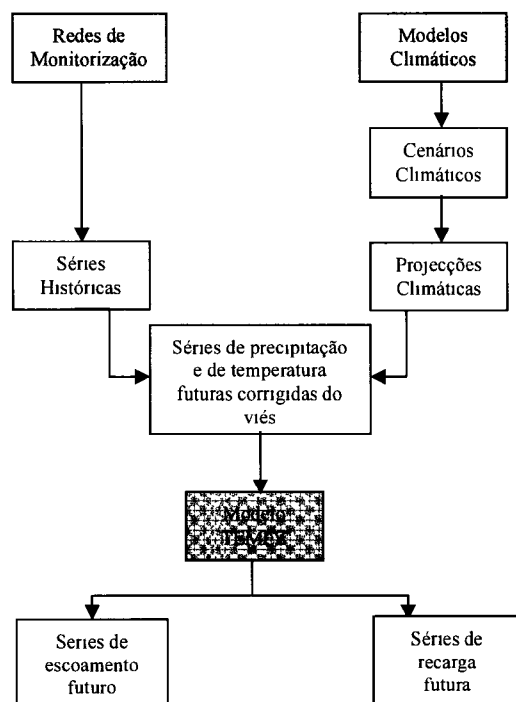


Figura 24 – Metodologia de análise (adaptado de Cunha *et al.*, 2004).

Utilizaram-se três origens diferentes de séries climáticas futuras de temperatura do ar e de precipitação diárias, nomeadamente do Danish Meteorological Institute as séries designadas por DMI.ecscA2, do Hadley Center – UK Met. Office as séries designadas por HC.adhfa e por último do Swedish Meteorological and Hydrological Institute as séries SMHI.MPIA2.

Na primeira e na última série os dados disponíveis são para 30 anos, apenas para HC.adhfa tem-se um período de 31 anos.

5.4. Avaliação das Disponibilidades Hídricas Superficiais no Período Cenário (2071 a 2100)

Para determinar o caudal efluente às albufeiras entre os anos 2071 a 2100 foi utilizado o modelo Temez. O procedimento foi igual ao efectuado para as séries históricas no capítulo 3.

O Algarve é abrangido por 4 *Células* dos RCM, designadamente as células 53_15, 54_15, 55_15 e 56_15. Na Figura 25 podemos observar em que células se localizam as respectivas bacias hidrográficas das albufeiras em análise.

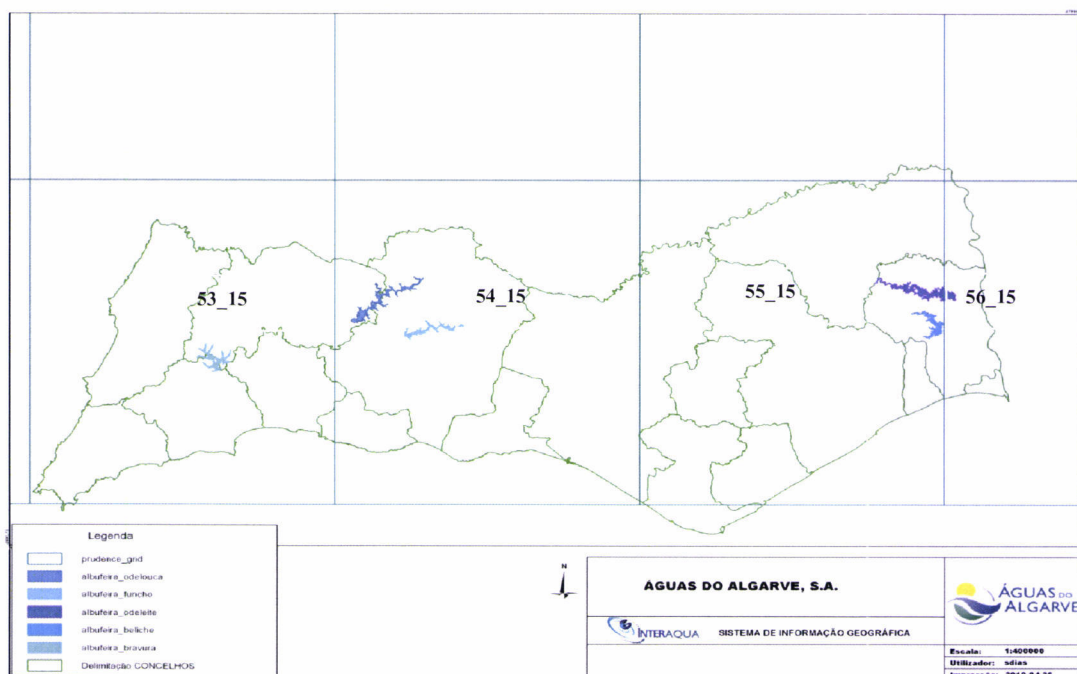


Figura 25 – Células da malha dos modelos regionais de clima que abrangem a região algarvia.

Antes de se proceder ao cálculo do escoamento pelo Modelo Temez foi necessário efectuar a correcção do viés das séries projectadas para o futuro, de precipitação e temperatura. O método utilizado para correcção do desvio das séries climáticas geradas pelos RCM foi o Direct Forcing. Os factores mensais de correcção de desvio são obtidos assumindo factores mensais multiplicativos para a precipitação e factores mensais aditivos para a temperatura (Mourato, 2009).

$$P_{\text{cenário}} = P_{\text{RCMcenário}} \times \frac{\bar{P}_{\text{obs}}}{\bar{P}_{\text{RCMcontrolo}}} \quad (2)$$

$P_{\text{RCMcenário}}$ – Precipitação diária da projecção no período cenário (mm);

\bar{P}_{obs} – Precipitação mensal média registada no período de controlo (mm).

$$T_{cenario} = T_{RCMcenario} + (\bar{T}_{obs} - \bar{T}_{RCMcontrolo}) \quad (3)$$

$T_{RCMcenario}$ – Temperatura diária média da projecção no período cenário (°C);

\bar{T}_{obs} – Temperatura mensal média registada no período de controlo (°C).

O método Direct Forcing é regido por 3 hipóteses simplificativas (Mourato, 2009):

Hipótese 1 – a relação entre a média registada em cada posto e a média dos registos em todos os postos (de uma célula) é igual à relação entre a média das projecções para o futuro em cada posto e a média das projecções em todos os postos (de uma célula) para o futuro.

Hipótese 2 – a relação entre a média dos registos em todos os postos (numa célula) e a média do modelo de clima nessa célula no mesmo período é igual à relação entre a média dos postos (dessa célula) no futuro e a média da célula do modelo de clima no período futuro. O que significa que o desvio verificado na média durante o período de controlo entre o registado e o modelo será igual ao verificado entre o valor médio do futuro e o projectado pelo modelo.

Hipótese 3 - a relação entre o valor da série para o futuro e a média da série para o futuro é igual à relação entre o valor da série projectada pelo modelo de clima no futuro e a média da série projectada no futuro. Com base nesta hipótese, a distribuição estatística da série projectada para o futuro mantém-se para a série no futuro.

Com os resultados dos RCM (séries meteorológicas futuras) em cada célula dos modelos onde estão incluídas cada uma das bacias hidrográfica de cada albufeira, foi aplicar-se o Modelo Temez para determinar as afluências às albufeiras no futuro. Sendo que a bacia hidrográfica da albufeira da Bravura se localiza na célula 53_15, as bacias hidrográficas das albufeiras de Funcho e Odelouca na célula 54_15 e as bacias das albufeiras de Odeleite e Beliche na célula 55_15.

No Quadro 15 são apresentados os valores de temperatura mensal média determinados em função das séries de temperaturas projectadas, corrigida do viés.

Quadro 15 – Temperatura mensal média gerada pelos diferentes modelos climáticos, corrigida do viés.

Albufeira	Origem dados	Temperatura média (°C)											
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Bravura	HC.adhfa	12,66	13,53	15,39	16,49	19,33	23,24	25,99	24,90	22,99	20,16	16,21	13,47
	DMI.ecscA2	12,65	1388	15,65	17,06	20,23	24,13	26,40	26,58	25,18	20,90	17,10	13,76
	SMHI.MPIA2	12,90	14,21	16,12	17,61	20,90	24,72	26,71	26,57	25,37	21,52	17,35	14,10
Funcho	HC.adhfa	14,68	15,77	17,78	18,57	21,11	25,11	28,63	27,48	23,81	22,33	17,41	14,98
	DMI.ecscA2	15,07	16,59	18,48	19,64	22,57	26,68	29,31	29,25	25,99	23,49	18,83	15,75
	SMHI.MPIA2	15,25	16,90	18,94	20,21	23,14	27,12	29,87	29,49	26,41	24,36	19,03	16,01
Odeleite/Beliche	HC.adhfa	12,56	13,54	15,75	17,19	20,35	25,01	28,35	27,06	24,38	20,46	16,08	13,32
	DMI.ecscA2	12,81	14,13	16,27	18,04	21,46	26,07	28,93	28,74	26,68	21,62	17,26	13,91
	SMHI.MPIA2	13,07	14,56	16,76	18,69	22,13	26,77	29,59	29,24	27,15	22,36	17,53	14,27
Odelouca	HC.adhfa	12,50	13,60	15,95	16,55	19,60	23,81	27,43	26,10	23,48	20,23	16,11	13,32
	DMI.ecscA2	12,83	14,31	16,59	17,50	20,95	25,29	28,09	27,79	25,63	21,28	17,42	14,00
	SMHI.MPIA2	12,98	14,58	17,00	18,01	21,48	25,71	28,62	28,02	26,04	22,07	17,61	14,24

No Quadro 16 são apresentados os valores de evapotranspiração mensal média determinados em função das séries de temperaturas futuras corrigidas do viés, e a evapotranspiração determinada para o período de 1961 a 1990 - com as séries registadas de temperatura, humidade do ar, vento e radiação. A evapotranspiração mensal média futura foi determinada através da relação entre a temperatura média mensal futura, a temperatura média mensal do período 1969 – 1990 e evapotranspiração determinada para o mesmo período.

Quadro 16 – Evapotranspiração de Referência determinada através das projecções climáticas para o fim do século e a determinada para as séries registadas entre 1961 e 1990.

Albufeira	Origem dados	Evapotranspiração de referência (mm)											
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Bravura	HC.adhfa	76,1	87,0	110,4	124,3	160,0	209,1	243,7	230,1	206,0	170,4	120,7	86,3
	DMI.ecscA2	76,0	91,4	113,7	131,4	171,2	220,3	248,8	251,2	233,6	179,7	131,9	90,0
	SMHI.MPIA2	79,2	95,6	119,6	138,3	179,8	227,7	252,8	251,0	235,9	187,5	135,1	94,3
	Obs 1961-1990	44,1	54,3	91,1	118,4	161,3	183,3	210,1	194,7	137,7	91,5	56,6	42,3
Funcho	HC.adhfa	78,9	95,5	126,0	137,9	176,5	237,2	290,6	273,1	217,4	195,0	120,4	83,5
	DMI.ecscA2	84,9	108,0	136,6	154,2	198,6	261,0	301,0	300,0	250,5	212,6	141,9	95,1
	SMHI.MPIA2	87,6	112,7	143,6	162,9	207,3	267,6	309,4	303,7	256,9	225,8	145,0	99,1
	Obs 1961-1990	51,1	39,7	54,5	84,4	133,2	184,2	234,5	232,9	173,0	137,0	94,6	69,1
Odeleite/ Beliche	HC.adhfa	66,2	79,9	110,6	130,7	174,6	239,4	285,7	267,8	230,5	176,1	115,3	76,9
	DMI.ecscA2	69,8	88,1	117,8	142,5	190,0	254,1	293,8	291,2	262,6	192,2	131,6	85,0
	SMHI.MPIA2	73,4	94,2	124,7	151,4	199,4	263,7	302,9	298,1	269,0	202,5	135,4	90,1
	Obs 1961-1990	48,6	38,8	49,3	77,9	130,4	180,2	245,1	231,7	177,8	143,8	88,6	66,5
Odelouca	HC.adhfa	67,8	81,7	111,2	118,6	157,0	209,8	255,3	238,6	205,7	164,9	113,1	78,1
	DMI.ecscA2	72,0	90,5	119,1	130,7	173,9	228,4	263,5	259,7	232,6	178,1	129,6	86,7
	SMHI.MPIA2	73,9	93,9	124,3	137,0	180,6	233,7	270,2	262,6	237,9	188,0	132,0	89,6
	Obs 1961-1990	42,6	52,5	87,4	114,7	160,3	187,9	218,8	204,1	138,6	88,3	54,6	38,7

Pode observar-se que os valores de evapotranspiração obtidos a partir das séries climáticas futuras são no global superiores aos calculados com os dados registados entre 1961 e 1990, sendo de destacar-se os resultados obtidos para as séries do SMHI.MPIA2.

No Quadro 17 são apresentadas as precipitações médias ponderadas para o período 2071 – 2100, projectadas pelos diferentes modelos de clima e corrigidas pelo método de correcção de desvio, para as bacias hidrográficas das 4 principais albufeiras.

Quadro 17 – Precipitação ponderada nas células dos modelos regionais, gerada pelos diferentes modelos climáticos.

Precipitação ponderada (mm)	Cenário	Bacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total
	DMLecscA2	Bravura	113,54	121,7	58,66	47,69	26,23	5,99	1,16	5,16	13,69	89,59	62,7	80,26	626,38
		Odelouca	125,46	144,82	66,2	54,16	37,27	9,38	1,68	4,02	16,19	95,48	80,62	87,36	722,64
		Funcho	104,66	123,48	62,06	46,38	29,21	7,66	1,81	3,81	12,64	82,59	70,88	78,73	623,90
		Odeleiete	121,95	133,46	60,91	41,84	36,06	8,5	2,51	3,96	10,13	87,66	76,89	84,98	668,85
	HC.adhfa	Bravura	69,51	88,22	58,7	56,87	17,18	6,39	0,47	2,7	9,62	33,13	75,73	105,31	523,82
		Odelouca	73,31	104,21	63,91	65,34	22,64	9,75	1,09	4,03	21,88	52,45	97,44	106,45	622,51
		Funcho	60,91	89,04	59,01	55,53	17,66	7,93	1,17	3,7	16,99	45,18	85,7	95,61	538,41
		Odeleiete	69,19	97,02	57,19	53,85	18,25	7,41	1,26	2,13	9,45	40,35	81,98	100,51	538,59
	SMHLMPIA2	Bravura	106,71	115,96	39,59	18,33	9,93	3,13	1,13	6,5	8,4	35,14	65,58	81,7	492,10
		Odelouca	119,52	137,18	44,82	20,59	11,62	3,58	1,25	4,61	7,78	37,87	75,74	90,75	555,30
		Funcho	99,7	116,97	42,01	17,63	9,11	2,93	1,35	4,37	6,07	32,75	66,59	81,78	481,27
		Odeleiete	120,14	121,64	36,07	14,05	8,13	2,43	1,29	1,38	2,39	43,03	65,05	95,29	510,90

Nas Figuras 26 e 27, são apresentadas a título demonstrativo as projecções futuras para o fim de século de evapotranspiração e precipitação ponderada nas bacias hidrograficas das quatro principais albufeiras, comparadas com os valores médios registados entre 1961 e 1990.

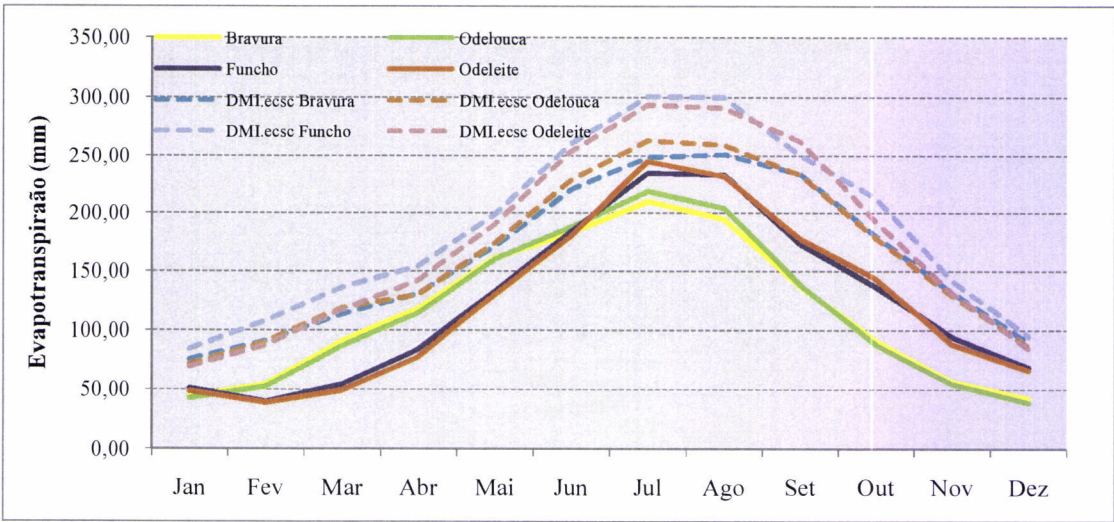


Figura 26 – Ciclo anual da Evapotranspiração de Referência para as bacias hidrográficas.

Na figura seguinte observa-se a previsível futura redução da precipitação face aos valores actuais, sendo que se observa igualmente uma grande concentração da precipitação em 2 meses, Janeiro e Fevereiro.

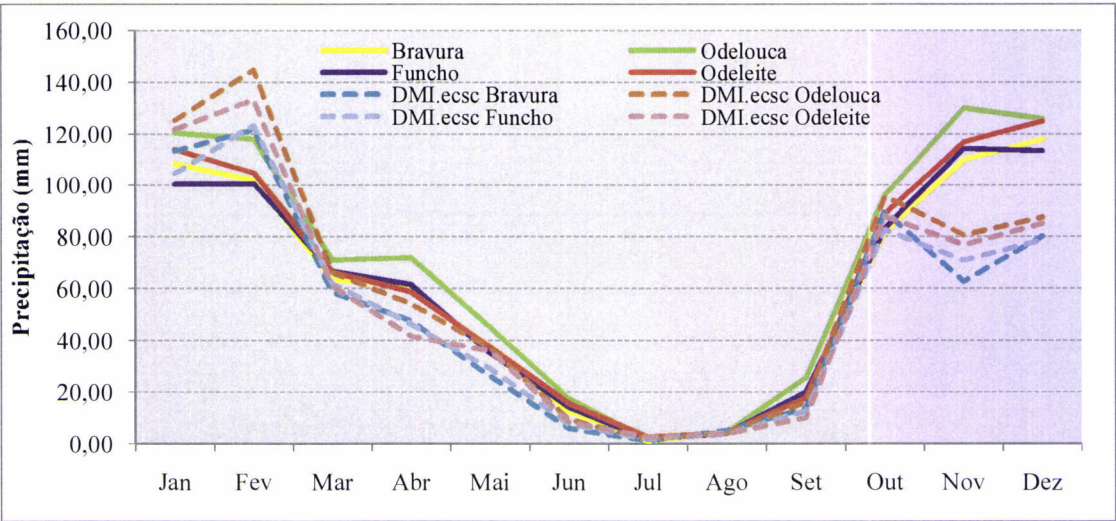


Figura 27 – Ciclo anual da precipitação ponderada sobre as bacias hidrográficas.

Os resultados obtidos para as séries de escoamento mensal dos três RCM em análise apresentam-se nas figuras seguintes. Nas figuras é apresentada a comparação entre os resultados obtidos com as séries corrigidas do viés e os resultados obtidos sem aplicação da correcção.

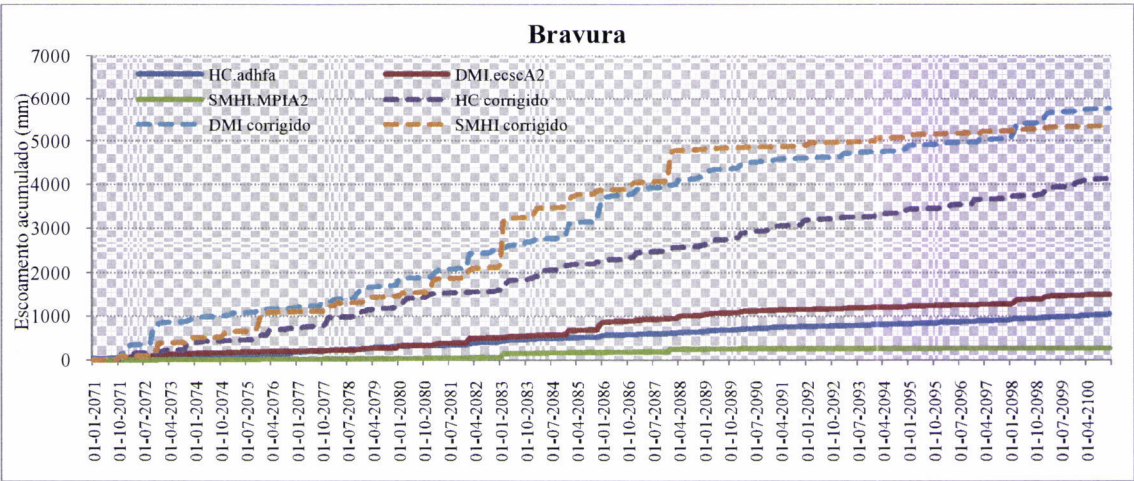


Figura 28 – Escoamento acumulado na bacia hidrográfica da albufeira de Bravura.

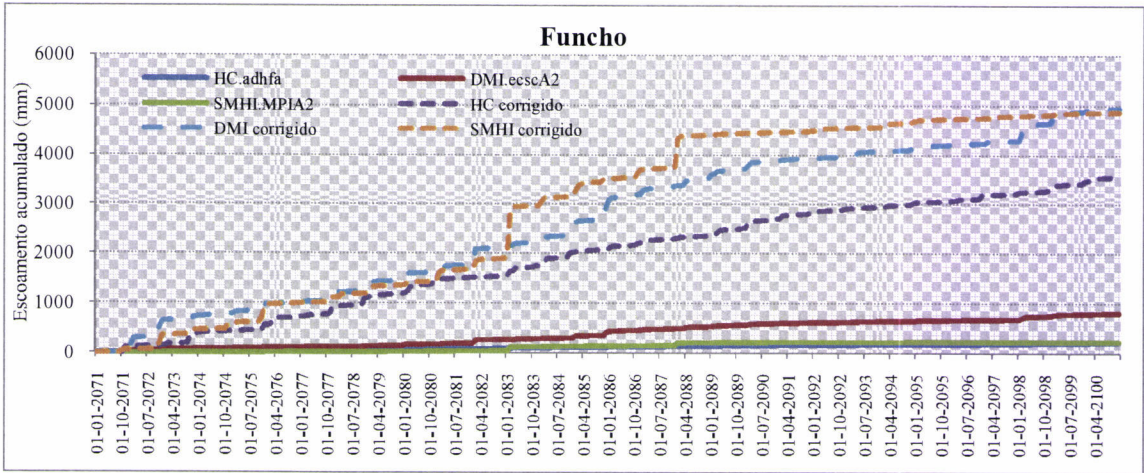


Figura 29 - Escoamento acumulado na bacia hidrográfica da albufeira do Funcho.

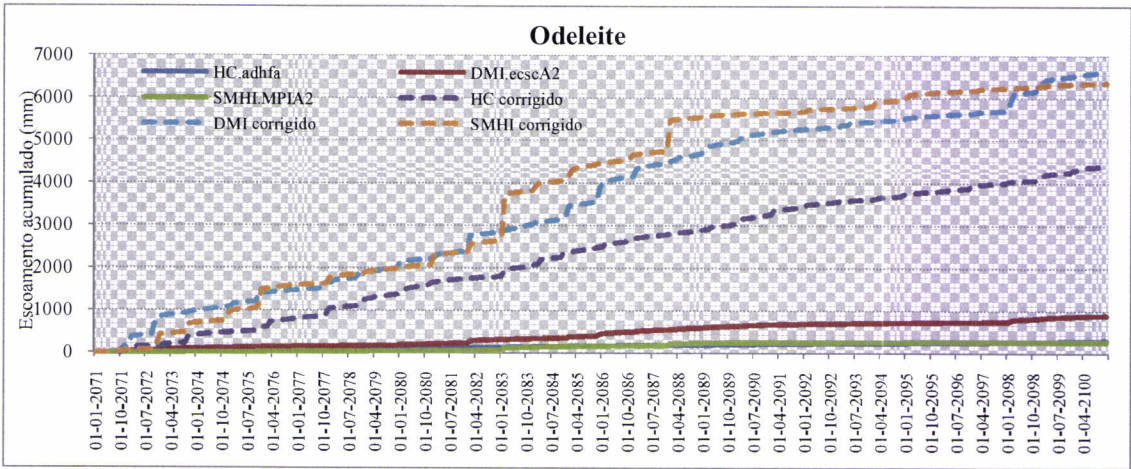


Figura 30 - Escoamento acumulado na bacia hidrográfica da albufeira de Odeleite.

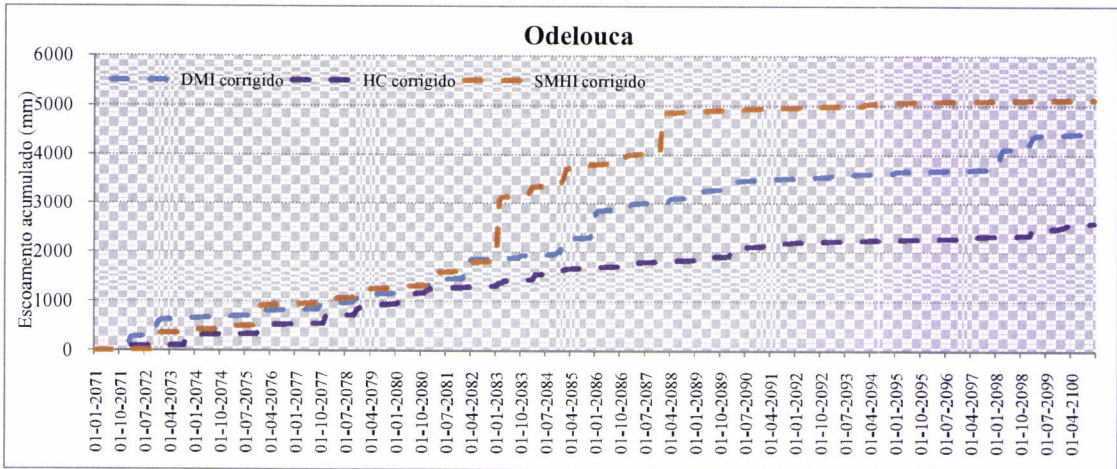


Figura 31 - Escoamento acumulado na bacia hidrográfica da albufeira de Odelouca.

Constata-se que os resultados mais positivos são os do modelo do *Danish Meteorological Institute* e pelos valores de escoamento acumulado na albufeira de Odeleite observamos que é nessas albufeiras onde se registam os valores mais elevados de escoamento. Sendo a célula 55_15 onde se localizam estas albufeiras, onde a correcção é mais evidente, apresentando uma diferença pronunciada entre os resultados directos dos modelos e os resultados com correcção do viés - conclui-se claramente que existe necessidade de aplicar técnicas de correcção às séries de temperatura e precipitação directamente resultantes de simulações de RCM.

No Quadro 18, podemos ver que a diferença entre o escoamento acumulado medido nas estações hidrométricas do INAG é muito superior ao determinado com as projecções das séries climáticas futuras resultantes dos RCM, com e sem correcção do viés.

Quadro 18 – Comparação entre o escoamento acumulado das séries históricas da rede monitorização do INAG e o escoamento acumulado determinado através das séries climáticas futuras.

			Sem correcção	Diferença	Com correcção	Diferença
Escoamento acumulado (mm)	Bravura	Observado (Set-39 a Set-69)	6842		6842	
		HC.adhfa (Jan-2070 a Dez-2100)	1047	-85%	4389	-36%
		DMI.ecscA2 (Jan-2071 a Dez-2100)	1498	-78%	5756	-16%
		SMHI.MPIA2 (Jan-2071 a Dez-2100)	273	-96%	5340	-22%
	Funcho	Observado (Set-33 a Set-52)	4517		4517	
		HC.adhfa (Jan-2070 a Dez-2100)	228	-95%	3810	-16%
		DMI.ecscA2 (Jan-2071 a Dez-2100)	810	-82%	4942	9%
		SMHI.MPIA2 (Jan-2071 a Dez-2100)	238	-95%	4871	8%
	Odeleite	Observado (Set-60 a Set-90)	6428		6428	
		HC.adhfa (Jan-2070 a Dez-2100)	301	-95%	4704	-27%
		DMI.ecscA2 (Jan-2071 a Dez-2100)	890	-86%	6609	3%
		SMHI.MPIA2 (Jan-2071 a Dez-2100)	273	-96%	6356	-1%
	Odelouca	Observado (Set-61 a Set-90)	Sem expressão		9355	
		HC.adhfa (Jan-2070 a Dez-2100)			2790	-70%
		DMI.ecscA2 (Jan-2071 a Dez-2100)			4436	-53%
		SMHI.MPIA2 (Jan-2071 a Dez-2100)			5120	-45%

Comparando os resultados de escoamento obtidos através das projecções climáticas, com as séries de escoamento observado entre 1961 e 1990, verifica-se que existe uma grande redução nos valores de escoamento acumulado – e que no caso da utilização directa das séries de temperatura e precipitação dos RCM estaríamos perante uma situação crítica –, no caso da utilização das séries climáticas sem correcção as diferenças do escoamento obtido em relação ao escoamento observado situam-se entre menos 80% e menos 95%, após a aplicação da correcção de viés essa diferença desce para valores que rondam cerca de menos 15% e menos 30%. A diminuição do escoamento superficial no futuro deve-se especialmente à fraca precipitação e à elevada evapotranspiração provocada pelo aumento da temperatura média do ar, previstas nas projecções meteorológicas futuras.

Apesar do grau de incerteza associado aos cenários climáticos traçados e dos quais resultam os modelos climáticos, os resultados apresentados devem ser tomados em conta, pois mostram um cenário futuro nada favorável para a região algarvia ao nível dos recursos hídricos disponíveis, e futuramente pode vir a ser necessário seleccionar alternativas de origem de água para abastecimento público, agrícola e industrial, e isto considerando igualmente, que possa existir um incremento da população presente (resid. + flut.) na região.

As figuras seguintes mostram os resultados da simulação da variação do volume armazenado nas albufeiras, ou seja o balanço hídrico em cada albufeira com base no escoamento entrado na albufeira para o cenário climático futuro HadRM3P, mantendo o valor de efluências actuais, consumos agrícola, público, caudal ecológico, exceptuando as perdas por evaporação que foi determinada em função das series de temperatura futuras.

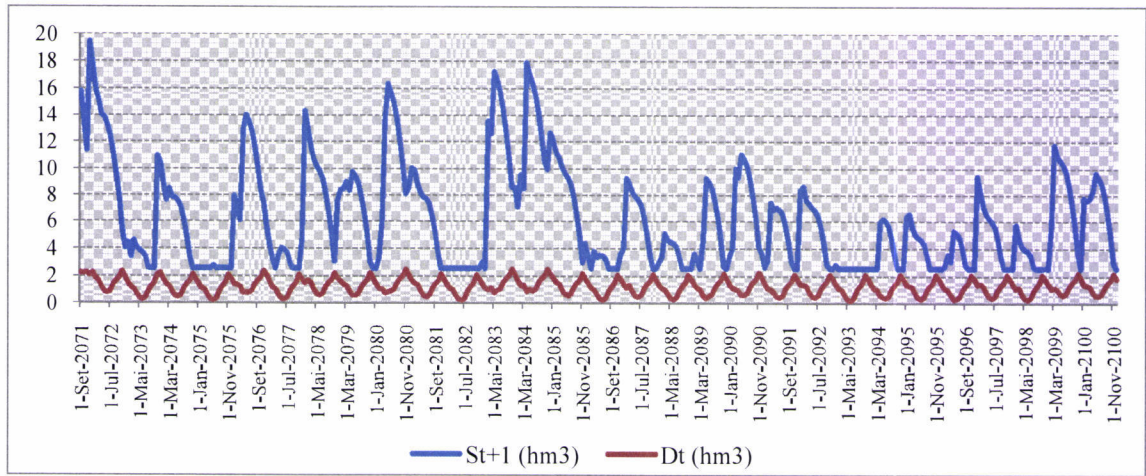


Figura 32- Variação do volume armazenado na albufeira de Bravura e efluências.

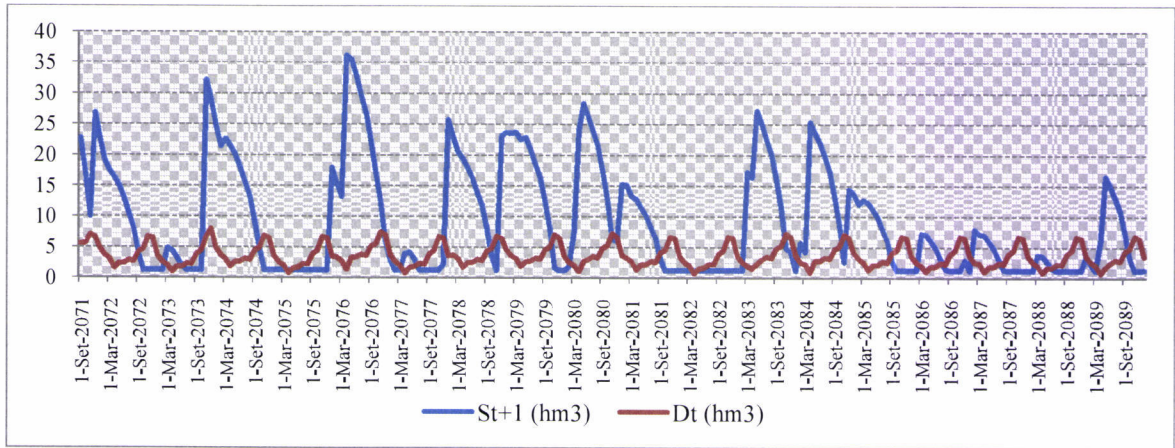


Figura 33 - Variação do volume armazenado na albufeira de Funcho e efluências.

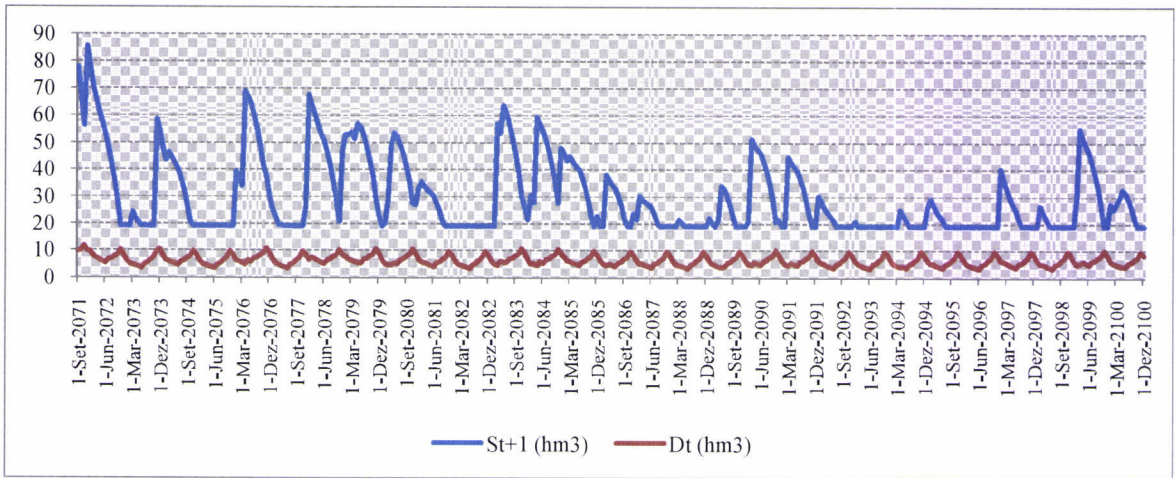


Figura 34 - Variação do volume armazenado na albufeira de Odelete e efluências.

Como se pode verificar pelas figuras anteriores os resultados obtidos, com as séries projectadas a partir dos cenários climáticos futuros, nos balanços hídricos efectuados, prevêem uma utilização deficitária das albufeiras a longo prazo na região, tornando-se origens insuficientes para garantir o abastecimento no SMAAA com continuidade.

Sendo que mesmo em anos onde existe armazenamento considerável, esse armazenamento atingem valores iguais a metade do volume útil das albufeiras (Bravura 32 hm³, Funcho 46 hm³ e Odeleite 120 hm³).

5.5. Séries de Escoamento Geradas

A geração de séries de escoamento é um instrumento importante na gestão e planeamento de sistemas de recursos hídricos. Os dados sintéticos não acrescentam informação aos dados já utilizados resultantes dos RCM, mas dada a natureza estocástica do processo de escoamento, eles permitem uma melhor avaliação do processo de planeamento já que constituem sequências alternativas de valores de escoamento com igual probabilidade de ocorrer no futuro.

Para gerar uma sequência de valores de escoamento assume-se que o processo de escoamento é um processo estocástico e que, portanto, a sua evolução no tempo envolve o conceito de probabilidade. Processo estocástico é entendido como uma coleção ordenada de variáveis aleatórias que evoluem no tempo, X_1, X_2, \dots, X_T , cuja sequência X_1, X_2, \dots, X_T resultante da sua observação representa uma única realização do processo. Com a utilização de modelos de geração pretende obter-se sequências alternativas, X_1, X_2, \dots, X_T , passíveis de ocorrerem no futuro e que representem o mesmo processo estocástico (Guimarães, 2005).

Uma vez que o processo estocástico não é conhecido, procura-se que o modelo seja capaz de reproduzir as propriedades estatísticas da série histórica.

O processo da geração das séries de escoamento deve ser começado com uma análise dos dados existentes, na tentativa de identificar as componentes da série pois delas vai depender o tipo de modelo a utilizar para a geração.

Depois de analisados os dados de escoamento, pode proceder-se à selecção do modelo a utilizar na geração e aqui duas situações se colocam:

- a) Se a série é independente no tempo recorre-se geralmente a modelos probabilísticos, que utilizam para a geração de séries, a distribuição de probabilidade subjacente à série existente. Se este for o caso é necessário, portanto, identificar a distribuição de probabilidade, de entre as muitas possíveis, que melhor se ajusta aos dados existentes;
- b) Se a série existente apresenta dependência temporal deve recorrer-se a modelos estocásticos que considerem não só a aleatoriedade do processo mas também a sequência temporal dos valores das variáveis. Também aqui se torna necessário identificar a distribuição de probabilidade da série de escoamentos, pois dela vai depender o tipo de modelo a utilizar.

Depois de seleccionado o modelo pode efectuar-se a geração das séries pretendidas (Guimarães, 2005).

Uma série x_i , $i = 1, 2, \dots, n$ de valores de escoamento anual diz-se independente no tempo, ou não correlacionada, se os valores de x no ano i são independentes dos valores de x no ano $i - k$, para $k = 1, 2, \dots$. Caso contrário a série diz-se dependente ou autocorrelacionada (Guimarães, 2005).

A autocorrelação ou dependência verificada nalgumas séries de escoamento anual deve-se ao transporte de água armazenada na bacia hidrográfica de uns anos para os outros. Em Portugal, os valores de escoamento anual têm sido considerados independentes no tempo, dado que a

influência do escoamento do ano anterior sobre o escoamento do ano seguinte é praticamente eliminada pela adopção do ano hidrológico (Quintela, 1967).

A verificação da independência temporal de uma série de escoamentos anuais pode ser feita através da análise do respectivo correlograma, definido pela representação gráfica do coeficiente de autocorrelação r_k em função de k . r_k é o estimador do coeficiente de autocorrelação ρ_k definido por (Box e Jenkins, 1976),

$$\rho_k = \frac{Cov [X_i X_{i+k}]}{Var [X]} \quad (4)$$

O estimador de máxima verosimilhança de ρ_k é dada por (Salas *et al.*, 1980),

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (X_i - \bar{X})(X_{i+k} - \bar{X}_{i+k})}{[\sum_{i=1}^{n-k} (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^{n-k} (X_{i+k} - \bar{X}_{i+k})^2]^{\frac{1}{2}}} \quad (5)$$

onde \bar{X}_i e \bar{X}_{i+k} são, respectivamente, a média dos primeiros $n - k$ valores de X_i e a média dos últimos $n - k$ valores de $n - k$ e k é o incremento temporal que não deve ser superior a $n/4$ (Box e Jenkins, 1976).

Uma série pode ser considerada independente se $r_k = 0$ para $k \neq 0$. No entanto, devido a flutuações amostrais a estimativa do coeficiente de autocorrelação pode apresentar valores diferentes de zero, tornando-se por isso necessário ter uma indicação de quanto ele pode diferir do seu valor teórico. Salas *et al.* (1980) sugerem a utilização do intervalo de confiança $(1 - \alpha)$ definido por (Anderson, 1941),

$$\left[\frac{-1 - Z_{1-\alpha/2\sqrt{n-k-1}}}{n-k}, \frac{-1 + Z_{1-\alpha/2\sqrt{n-k-1}}}{n-k} \right] \quad (6)$$

onde $Z_{1-\alpha/2}$ é o quantil $1-\alpha/2$ da distribuição Normal standardizada. Assim, considera-se a independência da série, para o nível de confiança $(1 - \alpha)$ se r_k se situar naquele intervalo (Guimarães, 2005).

Os métodos de geração de escoamentos anuais têm em comum o facto de necessitarem da geração prévia de variáveis aleatórias normalmente distribuídas. Estas podem ser obtidas a partir de números aleatórios com distribuição Uniforme. O método que se vai utilizar para a geração de variáveis aleatórias com distribuição Normal será aquele que se baseia no teorema do limite central. Assim, para se obter uma variável aleatória com distribuição Normal $N(0,1)$ será necessário gerar previamente doze variáveis aleatórias com distribuição Uniforme, qualquer linguagem de programação inclui subrotinas de geração de números pseudo aleatórios que satisfazem vários critérios estatísticos de aleatoriedade. Para a geração desses valores utilizou-se o programa EXCEL, o EXCEL utiliza a função *Aleatorio()* para a geração de números aleatórios. Esta função gera variáveis aleatórias com distribuição Uniforme.

Admitindo-se a hipótese de independência da série de escoamentos anuais históricos os valores de escoamento podem ser tratados como variáveis aleatórias representadas por uma função de distribuição de probabilidade. A escolha da função de distribuição representativa de uma determinada série de escoamentos anuais é, por isso, o primeiro passo a efectuar com vista à geração de valores de escoamento.

Sendo os valores de escoamento anual a soma dos valores do escoamento diário, será de esperar que a eles se ajuste a distribuição Normal, desde que estes últimos sejam independentes e que o número de dias do ano seja suficientemente grande (Quintela, 1967). No entanto, os valores de escoamento diário não são independentes e portanto a distribuição Normal pode não ser a adequada para representar os escoamentos anuais (Guimarães, 2005).

Nos casos em que os valores de escoamento apresentem uma distribuição assimétrica as distribuições a ajustar podem ser várias, sendo as mais utilizadas a distribuição Log-normal a dois e três parâmetros e a distribuição Gamma a três parâmetros. É muito provável que várias

distribuições de probabilidade se ajustem igualmente bem aos valores de escoamento anual observados e a decisão sobre qual utilizar é portanto subjectiva (Clarke, 1973).

Para a geração dos escoamentos mensais efectuar-se-á a desagregação dos valores anuais em mensais por utilização do método dos fragmentos proposto por Svanidze em 1961 (Svanidze, 1980). Este método permite simular escoamentos mensais tendo em consideração a distribuição do escoamento dentro do ano e a dependência estocástica não só dos escoamentos entre os vários anos como também dos escoamentos entre os vários meses (Svanidze, 1980).

Ao contrário dos escoamentos anuais, os escoamentos mensais, geralmente, não são normalmente distribuídos. Por este facto, quando se utilizam modelos de geração sequencial ou modelos de desagregação é necessário efectuar transformações aos dados para os normalizar e só assim se poderão utilizar aqueles modelos para a geração de escoamentos mensais (Guimarães, 2005).

A metodologia para aplicação do método dos fragmentos para desagregar valores anuais em valores mensais, admitindo a geração prévia de valores de escoamento anual \widehat{x}_{i*} , é a seguinte:

- 1 - Ordenar os valores de escoamento anual observados x_i por ordem crescente de magnitude;

2 - Calcular os fragmentos correspondentes a cada valor de escoamento anual da série resultante dos RCM

$$F = [f_{i,j}] = \left[\frac{Y_{i,j}}{\bar{Y}_i} \right] = \begin{bmatrix} \frac{Y_{1,1}}{\bar{Y}_1} & \frac{Y_{1,2}}{\bar{Y}_1} & \dots & \frac{Y_{1,12}}{\bar{Y}_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{Y_{n,1}}{\bar{Y}_n} & \frac{Y_{n,2}}{\bar{Y}_n} & \dots & \frac{Y_{n,12}}{\bar{Y}_n} \end{bmatrix} \quad (7)$$

onde F é uma matriz de dimensão (n x 12) que contém os n fragmentos da série gerada através dos RCM. O índice i, i = 1, 2, ..., n representa o ano e o índice j, j = 1, 2, ..., 12 representa o mês. $Y_{i,j}$ é o escoamento do mês j no ano i e $\bar{Y}_i = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} Y_{i,j}$ é o escoamento mensal médio do ano i.

3 - Formar r classes de escoamento anual. Para a primeira e última classe apenas se definem os limites superiores e inferior, respectivamente. A definição das classes é feita por agrupamento dos anos com valores de escoamento semelhantes e elas podem ou não ser de igual amplitude. Um estudo sobre este assunto pode ser encontrado em Arsénio (2003). Este autor utilizou o método dos fragmentos para a geração de escoamentos mensais para a ribeira de Odivelas, tendo experimentado vários intervalos de classes. Para o caso em estudo, a divisão em classes de amplitudes diferentes conduziu a bons resultados. Além disso verifica-se que a utilização de poucas classes com muitos fragmentos em cada classe foi a pior alternativa. Arsénio (2003) sugere que a divisão em classes seja feita por tentativas até se encontrar a que produza melhores resultados em termos de preservação das estatísticas mensais da série histórica. Será esta a abordagem que se adoptará neste trabalho.

4 - Desagregar cada valor de escoamento anual gerado \widehat{x}_{t*} , através de:

$$\widehat{Y}_{t*} = \widehat{Y}_{t*} \times F_i \quad (8)$$

onde \widehat{Y}_{i^*} , é um vector contém os escoamentos mensais gerados do ano i^* , isto é, $\widehat{Y}_{i^*} = [\widehat{Y}_{i^*,1}, \widehat{Y}_{i^*,2}, \dots, \widehat{Y}_{i^*,12}]$. O índice i^* , $i^* = 1, 2, \dots, n^*$ representa o ano na série gerada e o número de anos da série gerada n^* não é necessariamente igual ao número de anos da série histórica n . \widehat{Y}_{i^*} é o escoamento mensal médio gerado do ano i^* obtido por $\widehat{Y}_{i^*} = \widehat{x}_{i^*}/12$ e F é o fragmento a utilizar, isto é, uma das linhas da matriz F . A selecção de F_i a utilizar para desagregar cada valor anual gerado \widehat{x}_{i^*} é feita do seguinte modo: identificar qual a classe a que pertence \widehat{x}_{i^*} e se nessa classe existir mais do que um fragmento, então deve recorrer-se a uma escolha aleatória, sem reposição, de um fragmento F_i dessa classe. Quando se esgotam os fragmentos de uma classe procede-se à reposição dos mesmos fragmentos que podem voltar ser utilizados aleatoriamente (Guimarães, 2005).

A avaliação da qualidade das séries geradas por qualquer modelo pode ser feita pela comparação das suas estatísticas com as estatísticas da série gerada através dos resultados dos RCM. Se as estatísticas da série existente são preservadas pelas séries geradas então considera-se que estas são sequências alternativas à série existente podendo ser utilizadas para o objectivo para que foram geradas.

A comparação da estatística, θ , da série histórica com a estatística $\widehat{\theta}$, das s séries geradas pode ser feita determinando a média e desvio padrão de $\widehat{\theta}$,

$$M(\widehat{\theta}) = \frac{1}{s} \sum_{m=1}^s \widehat{\theta}_m \quad (9)$$

$$s(\widehat{\theta}) = \left[\frac{1}{s-1} \sum_{m=1}^s (\widehat{\theta}_m - M(\widehat{\theta}))^2 \right]^{1/2} \quad (10)$$

onde $\widehat{\theta}_m$ representa a estatística $\widehat{\theta}$ calculada para a m^a série gerada e s é o número de séries geradas.

Depois de calculadas $M(\widehat{\theta})$ e s pode estabelecer-se o intervalo de confiança $(1 - \alpha)$ para θ ,

$$\left] M(\hat{\theta}) - Z_{1-\frac{\alpha}{2}}(\hat{\theta}); M(\hat{\theta}) + Z_{1-\frac{\alpha}{2}}(\hat{\theta}) \right[\quad (11)$$

onde $Z_{1-\alpha/2}$ é o quantil $1-\alpha/2$ da distribuição Normal standardizada. Considera-se que a estatística θ da série existente é preservada nas séries geradas se ela se situar dentro daquele intervalo.

5.5.1. Apresentação e análise de resultados

Após o exposto anteriormente, apresenta-se a aplicação do método às séries de escoamento projectadas, obtidas no ponto 5.4.

No Quadro 19, apresentam-se as características estatísticas dos escoamentos anuais produzidas com o Modelo Temez através das séries de temperatura e precipitação HC.adhfa. A representação gráfica dos escoamentos anuais é feita nas Figuras 28 a 31.

Quadro 19 – Características estatísticas dos escoamentos anuais produzidas pelo Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa.

<i>Albufeira</i>	<i>n.º anos</i>	<i>Média (mm)</i>	<i>Desvio Padrão (mm)</i>	<i>Coef. de Variação</i>	<i>Máximo (mm)</i>	<i>Mínimo (mm)</i>	<i>Coef. de Assimetria</i>	<i>Coef. de Correlação^a</i>
Bravura	31	141,57	81,98	0,58	309,62	22,78	0,48	-0,19
Funcho	31	122,90	74,99	0,61	277,13	26,36	0,60	-0,12
Odeleite	31	151,73	74,42	0,49	303,72	47,18	0,43	0,06
Odelouca	31	94,48	72,92	0,77	274,52	11,83	0,73	0,05

^a coeficiente de correlação de incremento um.

As características estatísticas dos escoamentos mensais produzidas com o Modelo Temez através das séries de temperatura e precipitação HC.adhfa são apresentadas nos Quadros 20 a 27.

Quadro 20 - Características estatísticas dos escoamentos mensais produzidas através Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa para a albufeira de Bravura.

<i>Albufeira</i>	<i>Média (mm)</i>	<i>Desvio Padrão (mm)</i>	<i>Coef. de Variação</i>	<i>Máximo (mm)</i>	<i>Mínimo (mm)</i>	<i>Coef. de Assimetria</i>	<i>Coef. de Correlação</i>
Jan	15,57	19,19	1,23	82,45	0,90	2,05	0,10
Fev	26,77	38,63	1,44	154,08	0,14	2,00	-0,10
Mar	16,78	33,48	2,00	130,63	1,22	2,55	-0,14
Abr	12,71	17,85	1,41	67,35	0,31	2,03	-0,05
Mai	2,63	0,89	0,34	4,97	0,30	0,16	0,28
Jun	2,28	0,56	0,25	3,22	0,70	-0,86	0,66
Jul	2,16	0,56	0,26	2,93	0,35	-1,25	0,67
Ago	2,05	0,53	0,26	2,79	0,34	-1,25	0,67
Set	1,97	0,50	0,26	2,69	0,32	-1,27	0,67
Out	7,52	23,99	3,19	134,49	0,31	5,28	-0,06
Nov	18,76	28,42	1,51	127,55	1,56	2,45	0,18
Dez	32,39	38,95	1,20	142,76	1,47	1,43	-0,36

Quadro 21 – Coeficientes de correlação dos escoamentos mensais produzidas através Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa para a albufeira de Bravura.

<i>Albufeira de Bravura</i>												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Jan	1,00	0,04	0,16	-0,10	0,12	0,25	0,25	0,25	0,25	-0,09	-0,11	-0,02
Fev		1,00	-0,14	0,41	0,43	0,37	0,36	0,36	0,37	-0,02	-0,13	0,20
Mar			1,00	0,24	0,07	0,31	0,28	0,28	0,28	0,07	0,14	-0,03
Abr				1,00	0,26	0,44	0,42	0,42	0,43	-0,11	-0,13	-0,03
Mai					1,00	0,64	0,65	0,65	0,67	-0,17	-0,41	0,30
Jun						1,00	0,99	0,99	0,99	-0,19	-0,36	0,10
Jul							1,00	1,00	1,00	-0,18	-0,42	0,11
Ago								1,00	1,00	-0,18	-0,42	0,11
Set									1,00	-0,17	-0,42	0,12
Out										1,00	0,03	-0,17
Nov											1,00	-0,07
Dez												1,00

Quadro 22 - Características estatísticas dos escoamentos mensais produzidas através Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa para a albufeira de Funcho.

<i>Albufeira</i>	<i>Média (mm)</i>	<i>Desvio Padrão (mm)</i>	<i>Coef. de Variação</i>	<i>Máximo (mm)</i>	<i>Mínimo (mm)</i>	<i>Coef. de Assimetria</i>	<i>Coef. de Correlação</i>
Jan	9,45	11,09	1,17	43,15	0,00	1,84	0,05
Fev	22,90	33,91	1,48	124,15	0,00	1,97	0,05
Mar	14,34	29,36	2,05	113,46	1,07	2,77	-0,10
Abr	9,91	15,11	1,52	61,35	0,17	2,61	-0,09
Mai	2,80	0,88	0,31	4,80	0,16	-0,69	0,74
Jun	2,61	0,77	0,30	3,77	0,18	-1,15	0,76
Jul	2,51	0,74	0,30	3,63	0,17	-1,16	0,76
Ago	2,41	0,71	0,30	3,49	0,16	-1,16	0,76
Set	2,32	0,69	0,30	3,36	0,16	-1,17	0,76
Out	8,55	31,32	3,66	176,92	0,15	5,53	-0,05
Nov	19,98	32,61	1,63	133,23	1,83	2,47	0,08
Dez	25,12	33,37	1,33	127,55	1,83	1,70	-0,32

Quadro 23 - Coeficientes de correlação dos escoamentos mensais produzidas através Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa para a albufeira de Funcho.

<i>Albufeira de Funcho</i>												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Jan	1,00	0,04	0,19	-0,10	0,22	0,30	0,30	0,30	0,30	-0,13	-0,02	-0,08
Fev		1,00	-0,14	0,22	0,52	0,37	0,37	0,37	0,37	0,02	-0,12	0,19
Mar			1,00	0,17	0,21	0,28	0,28	0,28	0,28	-0,03	0,17	0,02
Abr				1,00	0,31	0,37	0,37	0,37	0,37	-0,10	-0,09	-0,01
Mai					1,00	0,93	0,93	0,93	0,93	-0,22	-0,27	0,23
Jun						1,00	1,00	1,00	1,00	-0,22	-0,24	0,05
Jul							1,00	1,00	1,00	-0,22	-0,24	0,05
Ago								1,00	1,00	-0,22	-0,24	0,05
Set									1,00	-0,21	-0,25	0,06
Out										1,00	0,00	-0,13
Nov											1,00	-0,06
Dez												1,00

Quadro 24 - Características estatísticas dos escoamentos mensais produzidas através Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa para a albufeira de Odeleite.

<i>Albufeira</i>	<i>Média (mm)</i>	<i>Desvio Padrão (mm)</i>	<i>Coef. de Variação</i>	<i>Máximo (mm)</i>	<i>Mínimo (mm)</i>	<i>Coef. de Assimetria</i>	<i>Coef. de Correlação</i>
Jan	13,50	12,10	0,90	46,76	2,94	1,56	0,06
Fev	28,32	38,27	1,35	140,74	0,00	1,80	-0,02
Mar	16,60	27,62	1,66	114,52	0,54	2,92	-0,11
Abr	11,17	10,85	0,97	44,91	0,28	2,25	0,01
Mai	6,47	2,17	0,33	10,46	0,27	-0,61	0,62
Jun	5,97	2,04	0,34	9,95	0,29	-0,52	0,56
Jul	5,61	1,91	0,34	9,35	0,30	-0,52	0,56
Ago	5,27	1,79	0,34	8,78	0,28	-0,52	0,56
Set	4,95	1,68	0,34	8,25	0,26	-0,52	0,56
Out	9,78	24,62	2,52	141,55	0,25	5,45	-0,06
Nov	19,20	28,90	1,50	112,19	3,41	2,31	0,15
Dez	25,32	31,40	1,24	138,19	3,33	2,09	-0,21

Quadro 25 - Coeficientes de correlação dos escoamentos mensais produzidas através Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa para a albufeira de Odeleite.

<i>Albufeira de Odeleite</i>												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Jan	1,00	0,02	0,19	-0,09	0,21	0,26	0,26	0,26	0,25	-0,15	0,12	-0,17
Fev		1,00	-0,12	0,28	0,45	0,39	0,39	0,39	0,40	0,01	-0,11	0,15
Mar			1,00	0,15	0,37	0,40	0,40	0,40	0,40	0,01	0,18	-0,06
Abr				1,00	0,52	0,55	0,55	0,55	0,55	-0,08	-0,15	-0,11
Mai					1,00	0,98	0,98	0,98	0,98	-0,13	-0,18	0,10
Jun						1,00	1,00	1,00	1,00	-0,12	-0,15	0,01
Jul							1,00	1,00	1,00	-0,12	-0,15	0,01
Ago								1,00	1,00	-0,12	-0,15	0,01
Set									1,00	-0,09	-0,15	0,00
Out										1,00	-0,04	-0,12
Nov											1,00	0,04
Dez												1,00

Quadro 26 - Características estatísticas dos escoamentos mensais produzidas através Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa para a albufeira de Odelouca.

<i>Albufeira</i>	<i>Média (mm)</i>	<i>Desvio Padrão (mm)</i>	<i>Coef. de Variação</i>	<i>Máximo (mm)</i>	<i>Mínimo (mm)</i>	<i>Coef. de Assimetria</i>	<i>Coef. de Correlação</i>
Jan	10,12	24,41	2,41	117,90	0,91	3,60	-0,11
Fev	22,17	42,50	1,92	177,60	0,00	2,52	0,13
Mar	12,53	32,29	2,58	116,49	0,00	2,87	-0,11
Abr	7,17	14,44	2,01	55,38	0,00	2,73	-0,11
Mai	1,82	0,88	0,49	3,25	0,00	-0,19	0,85
Jun	1,77	0,86	0,49	3,17	0,00	-0,19	0,85
Jul	1,73	0,84	0,49	3,10	0,00	-0,19	0,85
Ago	1,69	0,82	0,49	3,03	0,00	-0,19	0,85
Set	1,65	0,80	0,49	2,95	0,00	-0,19	0,85
Out	7,57	32,96	4,35	185,12	0,00	5,56	-0,05
Nov	10,95	26,88	2,45	116,76	0,40	3,17	-0,08
Dez	15,29	30,99	2,03	149,00	0,39	3,14	-0,04

Quadro 27 - Coeficientes de correlação dos escoamentos mensais produzidas através Modelo Temez com as séries de temperatura e precipitação HC.adhfa para a albufeira de Odelouca.

<i>Albufeira de Odeleouca</i>												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Jan	1,00	-0,12	-0,10	-0,13	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,06	-0,11	-0,15
Fev		1,00	-0,07	0,06	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	-0,08	-0,17	0,06
Mar			1,00	0,39	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	-0,06	0,09	0,07
Abr				1,00	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	-0,08	-0,13	0,02
Mai					1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,27	-0,19	-0,05
Jun						1,00	1,00	1,00	1,00	-0,27	-0,19	-0,05
Jul							1,00	1,00	1,00	-0,27	-0,19	-0,05
Ago								1,00	1,00	-0,27	-0,19	-0,05
Set									1,00	-0,27	-0,19	-0,05
Out										1,00	0,08	-0,09
Nov											1,00	0,00
Dez												1,00

5.5.1.1. Estrutura correlacional

Calculou-se o correlograma r_k para $k = 1, 2, \dots, 12$, bem como os limites do intervalo de confiança a 95% definido por Anderson (1941). Pela análise das Figuras 35 a 38 verifica-se que a função autocorrelação se encontra dentro do intervalo de confiança estabelecido, pelo que se pode concluir que a séries de escoamentos anuais projectadas para as quatro albufeiras são independentes.

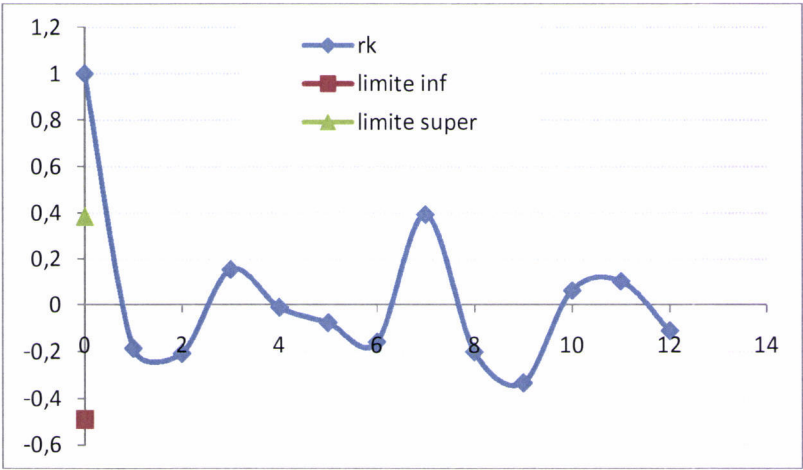


Figura 35 – Correlograma rk da series de escoamentos anuais na albufeira de Bravura para o período 2070 a 2100, com representação dos limites inferior e superior do intervalo de confiança estabelecido.

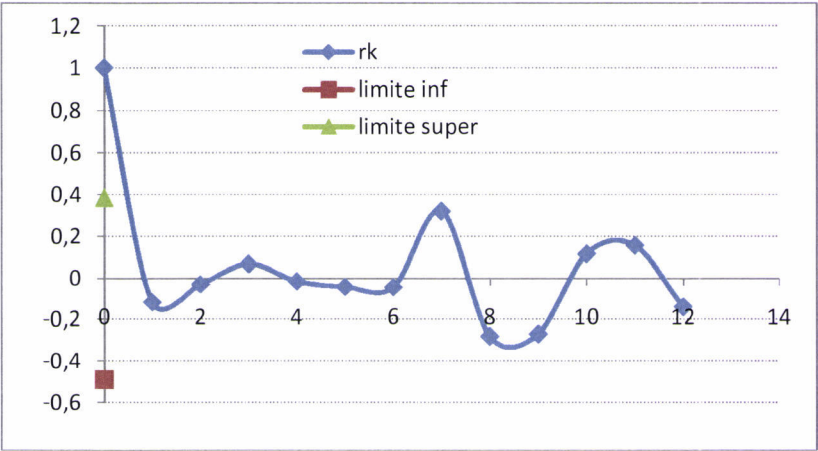


Figura 36 - Correlograma rk da series de escoamentos anuais na albufeira de Funcho para o período 2070 a 2100, com representação dos limites inferior e superior do intervalo de confiança estabelecido.

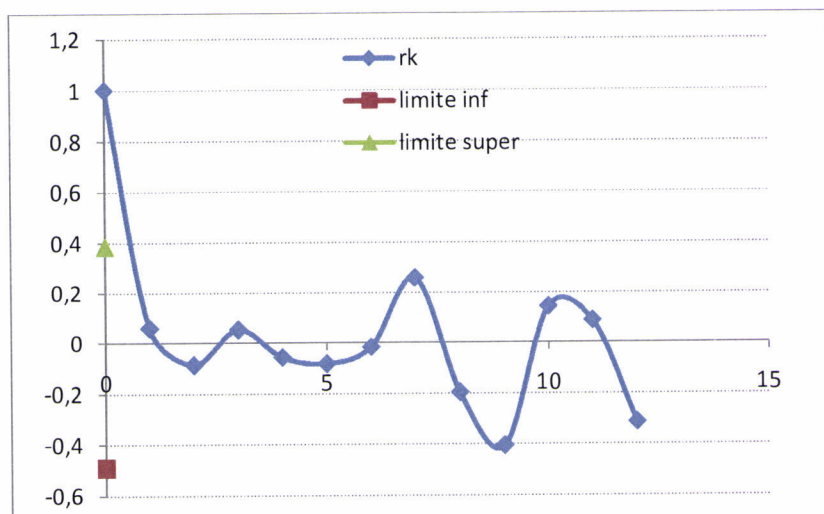


Figura 37 - Correlograma rk da series de escoamentos anuais na albufeira de Odeleite para o período 2070 a 2100, com representação dos limites inferior e superior do intervalo de confiança estabelecido.

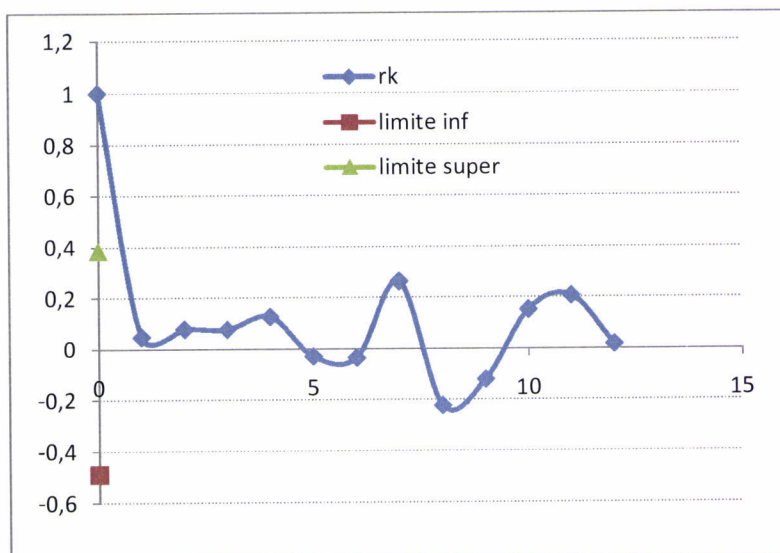


Figura 38 - Correlograma rk da series de escoamentos anuais na albufeira de Odelouca para o período 2070 a 2100, com representação dos limites inferior e superior do intervalo de confiança estabelecido.

5.5.1.2. Geração de escoamentos anuais

Depois de verificada a estacionariedade e independência das séries pode afectar-se a geração de valores de escoamento anual, de acordo com os métodos descritos anteriormente.

Pretende-se gerar 50 conjuntos de séries de escoamento anual, cada uma com $n^* = 31$ anos.

O método usado foi o baseado na distribuição Normal (NORM).

Verificou-se a qualidade das séries geradas estabelecendo-se o intervalo de confiança a 95%, para comparação das estatísticas das séries existentes com as estatísticas das 50 séries geradas. As estatísticas a comparar são a média, desvio padrão, coeficiente de assimetria e coeficiente de autocorrelação de incremento um r_1 . Calculou-se também o erro absoluto, entre a estatística da existente e a gerada. A última linha dos quadros com as estatísticas indica se a estatística da série existente está contida no intervalo de confiança estabelecido.

Quadro 28 – Comparação das estatísticas das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos anuais nas quatro albufeiras e de 50 séries geradas pelo modelo NORM.

<i>NORM</i>	\bar{x} (mm)	s_x (mm)	gx	r_1
Bravura				
Histórico Gerado	141,57	81,98	0,48	-0,19
Média	112,39	61,84	-0,86	-0,37
Desvio Padrão	170,72	100,01	0,83	0,27
Erro Absoluto	12,22	8,02	0,53	0,16
Dentro do intervalo?	sim	sim	sim	sim
Funcho				
Histórico Gerado	141,57	81,98	0,48	-0,19
Média	100,48	58,93	-0,81	-0,44
Desvio Padrão	146,35	95,46	0,91	0,37
Erro Absoluto	9,39	7,64	0,59	0,18
Dentro do intervalo?	sim	sim	sim	sim
Odeleite				
Histórico Gerado	141,57	81,98	0,48	-0,19
Média	122,38	58,71	-0,89	-0,36
Desvio Padrão	177,51	90,68	0,77	0,30
Erro Absoluto	11,30	6,31	0,53	0,15
Dentro do intervalo?	sim	sim	sim	sim
Odelouca				
Histórico Gerado	141,57	81,98	0,48	-0,19
Média	71,09	56,64	-0,85	-0,32
Desvio Padrão	117,57	88,40	0,94	0,26
Erro Absoluto	9,74	6,32	0,70	0,13
Dentro do intervalo?	sim	sim	sim	sim

Pela análise dos resultados obtidos pode concluir-se que as séries geradas pelo modelo NORM são satisfatórias, já que todas as estatísticas analisadas são preservadas.

5.5.1.3. Geração de escoamentos mensais

Os escoamentos mensais são obtidos através da desagregação das séries anuais geradas anteriormente por aplicação do método dos fragmentos descrito em 5.5.

Quadro 29 - Comparação das estatísticas das séries projectadas resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas.

<i>Bravura</i>												
Média (mm)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Histórico Gerado	15,57	26,77	16,78	12,71	2,63	2,28	2,16	2,05	1,97	7,52	18,76	32,39
Média	15,70	26,27	16,91	12,81	2,61	2,25	2,13	2,03	1,94	7,51	19,46	32,85
Desvio												
Padrão	2,00	2,45	1,51	1,32	0,40	0,34	0,33	0,31	0,30	0,79	2,11	3,33
Dentro do intervalo?	Sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim	Sim	sim	sim	sim	Sim
D. Padrão (mm)												
Histórico Gerado	19,19	38,63	33,48	17,85	0,89	0,56	0,56	0,53	0,50	23,99	28,42	38,95
Média	20,62	36,41	33,51	18,11	1,22	0,89	0,87	0,83	0,79	24,00	30,17	37,79
Desvio												
Padrão	2,01	3,07	3,14	1,49	0,14	0,11	0,11	0,10	0,10	2,64	3,50	3,44
Dentro do intervalo?	Sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim	Sim	sim	sim	sim	Sim
Coef. Assimetria												
Histórico Gerado	2,05	2,00	2,55	2,03	0,16	-0,86	-1,25	-1,25	-1,27	5,28	2,45	1,43
Média	2,22	1,88	2,46	2,01	0,08	-0,76	-0,84	-0,84	-0,86	5,27	2,54	1,24
Desvio												
Padrão	0,18	0,17	0,11	0,13	0,48	0,38	0,34	0,34	0,35	0,05	0,20	0,09
Dentro do intervalo?	Sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim	Sim	sim	sim	sim	Sim
Coef. Correlação												
Histórico Gerado	0,10	-0,10	-0,14	-0,05	0,28	0,66	0,67	0,67	0,67	-0,06	0,18	-0,36
Média	-0,04	-0,05	-0,02	-0,05	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,04	-0,03	-0,04
Desvio												
Padrão	0,21	0,15	0,18	0,15	0,22	0,20	0,21	0,21	0,21	0,05	0,18	0,16
Dentro do intervalo?	Sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim	Sim	sim	sim	sim	Sim

Quadro 30 - Comparação das estatísticas das séries projectadas resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas.

Funcho													
Média (mm)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Histórico Gerado	9,45	22,90	14,34	9,91	2,80	2,61	2,51	2,41	2,32	8,55	19,98	25,12	
Média	9,85	23,00	14,66	10,47	2,83	2,63	2,53	2,44	2,35	8,02	20,31	26,24	
Desvio Padrão	1,19	2,12	1,30	1,00	0,36	0,34	0,33	0,31	0,30	0,74	1,83	2,46	
Dentro do intervalo?	Sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim	Sim	sim	sim	sim	Sim	
D. Padrão (mm)													
Histórico Gerado	11,09	33,91	29,36	15,11	0,88	0,77	0,74	0,71	0,69	31,32	32,61	33,37	
Média	12,91	32,79	29,61	16,43	1,36	1,27	1,22	1,17	1,13	28,39	32,99	34,88	
Desvio Padrão	1,38	2,92	2,60	1,46	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	2,91	2,80	2,96	
Dentro do intervalo?	Sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim	Sim	sim	sim	sim	Sim	
Coef. Assimetria													
Histórico Gerado	1,84	1,97	2,77	2,61	-0,69	-1,15	-1,16	-1,16	-1,17	5,53	2,47	1,70	
Média	2,22	1,78	2,72	2,52	-0,63	-0,62	-0,62	-0,62	-0,62	5,51	2,41	1,64	
Desvio Padrão	0,24	0,11	0,08	0,11	0,21	0,24	0,24	0,24	0,24	0,01	0,10	0,10	
Dentro do intervalo?	Sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim	Sim	sim	sim	sim	Sim	
Coef. Correlação													
Histórico Gerado	0,05	0,05	-0,10	-0,09	0,74	0,76	0,76	0,76	0,76	-0,05	0,08	-0,32	
Média	-0,05	-0,01	-0,04	-0,05	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03	-0,05	-0,04	
Desvio Padrão	0,13	0,17	0,14	0,13	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,05	0,12	0,17	
Dentro do intervalo?	Sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim	Sim	sim	sim	sim	Sim	

Quadro 31 - Comparação das estatísticas das séries projectadas resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas.

Odeleite												
Média (mm)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Histórico Gerado	13,50	28,32	16,60	11,17	6,47	5,97	5,61	5,27	4,95	9,78	19,20	25,32
Média	13,23	27,26	16,30	11,32	6,41	5,92	5,56	5,22	4,91	9,42	18,88	25,54
Desvio Padrão	1,48	2,25	1,47	1,11	0,70	0,65	0,61	0,57	0,54	0,83	1,70	2,31
Dentro do intervalo?	Sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim	Sim	sim	sim	sim	Sim
D. Padrão (mm)												
Histórico Gerado	12,10	38,27	27,62	10,85	2,17	2,04	1,91	1,79	1,68	24,62	28,90	31,40
Média	13,10	35,89	26,60	11,94	2,75	2,58	2,42	2,27	2,13	23,08	28,70	32,54
Desvio Padrão	1,21	2,94	2,20	1,08	0,32	0,29	0,28	0,26	0,24	2,04	2,50	2,77
Dentro do intervalo?	Sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim	Sim	sim	sim	sim	Sim
Coef. Assimetria												
Histórico Gerado	1,56	1,80	2,92	2,25	-0,61	-0,52	-0,52	-0,52	-0,52	5,45	2,31	2,09
Média	1,58	1,76	2,86	2,21	-0,67	-0,55	-0,54	-0,54	-0,55	5,42	2,36	1,98
Desvio Padrão	0,13	0,11	0,07	0,08	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,02	0,13	0,14
Dentro do intervalo?	Sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim	Sim	sim	sim	sim	Sim
Coef. Correlação												
Histórico Gerado	0,06	-0,02	-0,11	0,01	0,62	0,56	0,56	0,56	0,56	-0,06	0,15	-0,21
Média	-0,07	-0,03	-0,02	-0,02	-0,06	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	-0,03	-0,03	-0,03
Desvio Padrão	0,18	0,19	0,14	0,18	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,03	0,17	0,17
Dentro do intervalo?	Sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim	Sim	sim	sim	sim	Sim

Quadro 32 - Comparação das estatísticas das séries projectadas resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas.

<i>Odelouca</i>												
Média (mm)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Histórico Gerado	10,12	22,17	12,53	7,17	1,82	1,77	1,73	1,69	1,65	7,57	10,95	15,29
Média	16,56	13,83	11,24	11,30	4,24	4,14	4,04	3,95	3,86	3,91	10,27	9,86
Desvio Padrão	1,60	1,90	1,20	1,04	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,60	1,28	1,69
Dentro do intervalo?	Sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim	Sim	sim	sim	sim	Sim
D. Padrão (mm)												
Histórico Gerado	24,41	42,50	32,29	14,44	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	32,96	26,88	30,99
Média	32,48	21,35	20,73	24,17	4,67	4,56	4,45	4,35	4,24	4,35	21,02	15,79
Desvio Padrão	3,00	1,95	2,11	2,54	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,87	2,53	3,10
Dentro do intervalo?	Sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim	Sim	sim	sim	sim	Sim
Coef. Assimetria												
Histórico Gerado	3,60	2,52	2,87	2,73	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	5,56	3,17	3,14
Média	2,80	2,56	2,86	4,27	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	1,00	3,95	2,71
Desvio Padrão	0,10	0,40	0,18	0,15	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,52	0,23	0,26
Dentro do intervalo?	Sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim	Sim	sim	sim	sim	Sim
Coef. Correlação												
Histórico Gerado	-0,11	0,13	-0,11	-0,11	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	-0,05	-0,08	-0,04
Média	-0,04	-0,02	-0,05	-0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-0,02	-0,03
Desvio Padrão	0,14	0,15	0,15	0,08	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,12	0,12
Dentro do intervalo?	Sim	sim	sim	sim	Sim	sim	sim	Sim	sim	sim	sim	Sim

Pela análise dos quadros anteriores e das Figuras 39 a 46, que se apresentam em seguida, pode verificar-se que as estatísticas das séries projectadas se situam dentro dos intervalos de confiança estabelecidos. Daí poder dizer-se que elas são preservadas pelas séries geradas. Pode assim concluir-se que o método utilizado para gerar as séries, Método dos Fragmentos, conduziu a resultados satisfatórios.

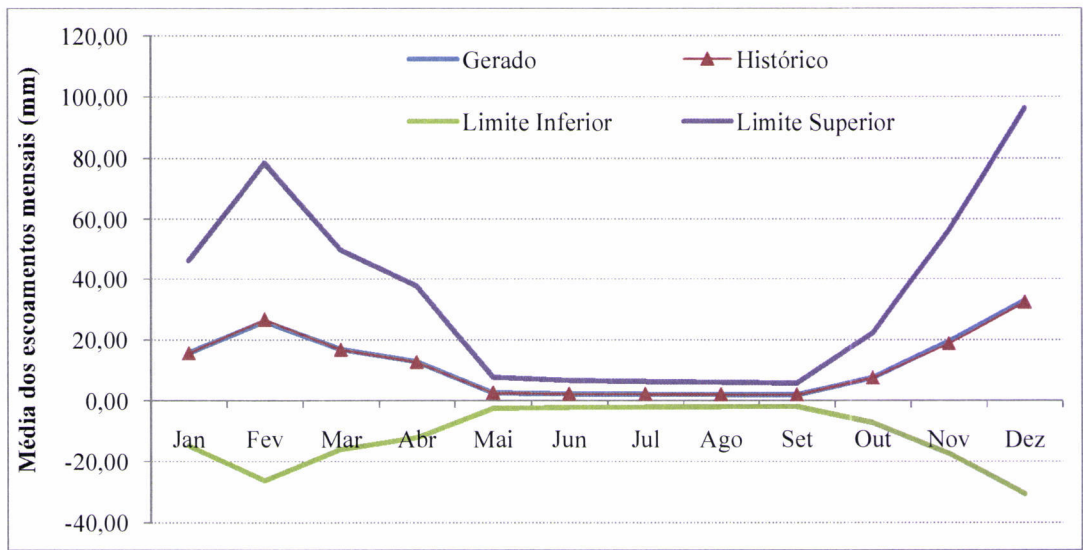


Figura 39 - Comparação das médias das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas em Bravura.

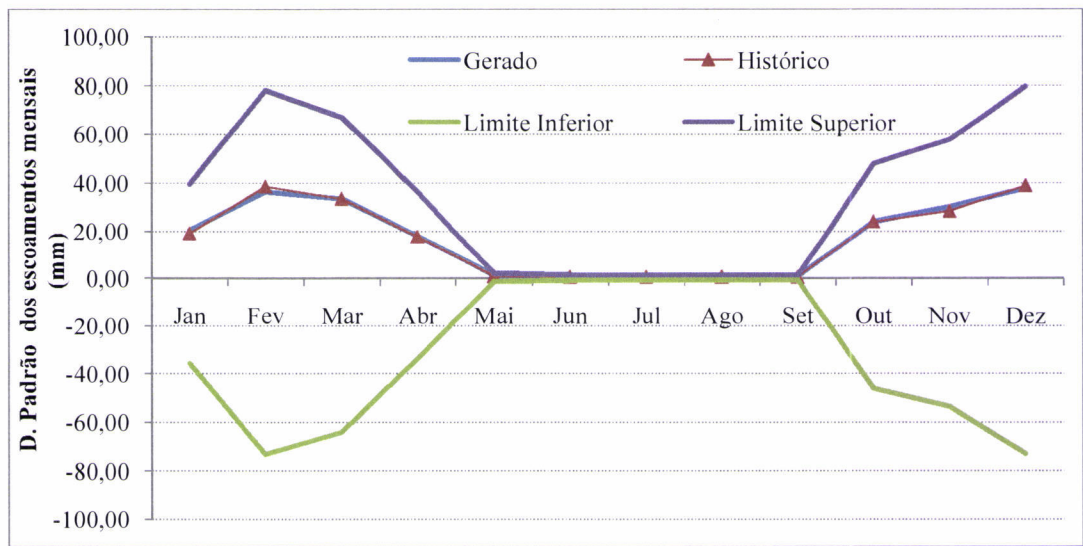


Figura 40 – Comparação dos desvios padrão das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas em Bravura.

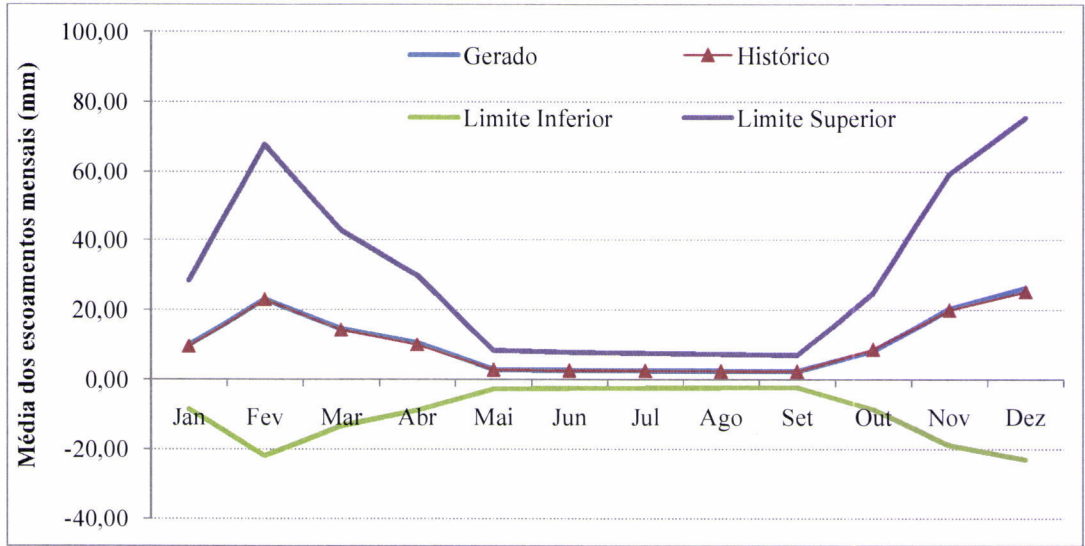


Figura 41 - Comparação das médias das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas em Funcho.

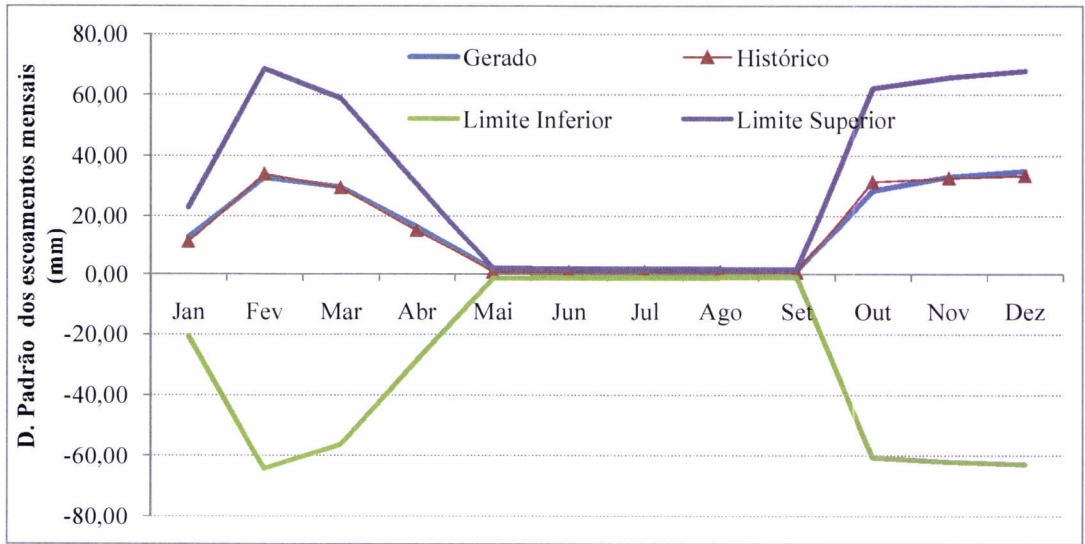


Figura 42 - Comparação dos desvios padrão das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas em Funcho.

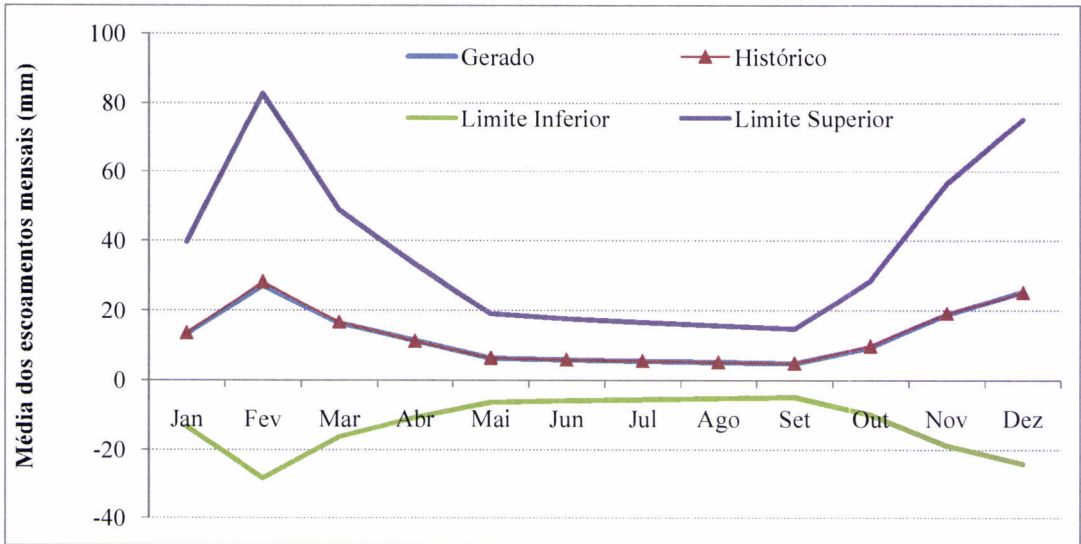


Figura 43 – Comparação das médias das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas em Odeleite.

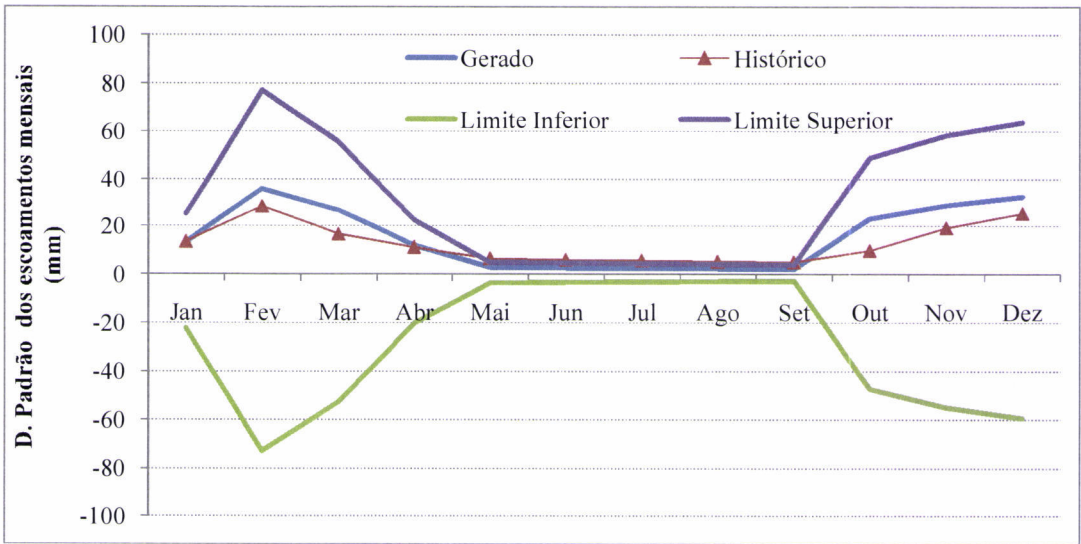


Figura 44 – Comparação dos desvios padrão das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas em Odeleite.

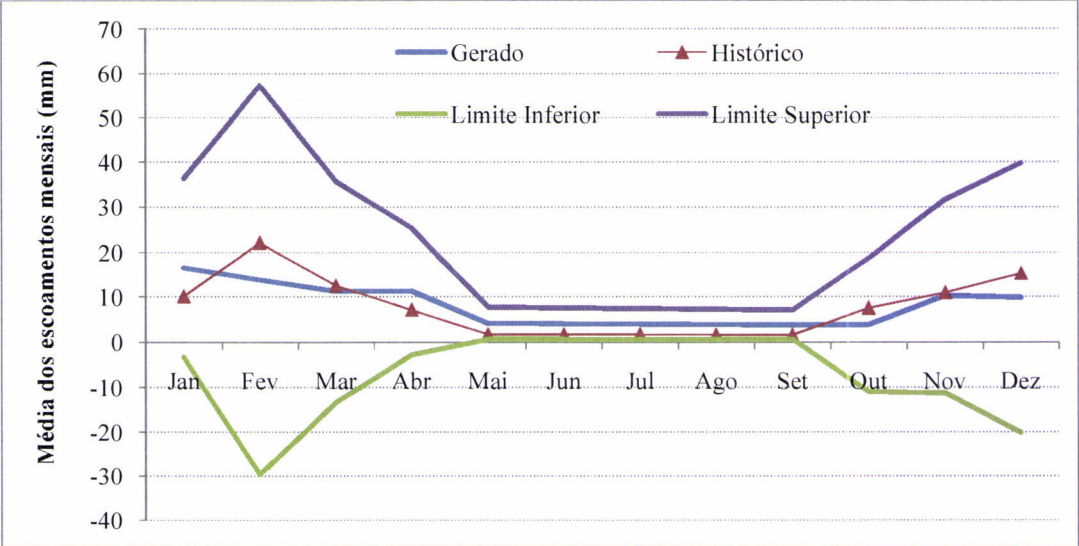


Figura 45 – Comparação das médias das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas em Odelouca.

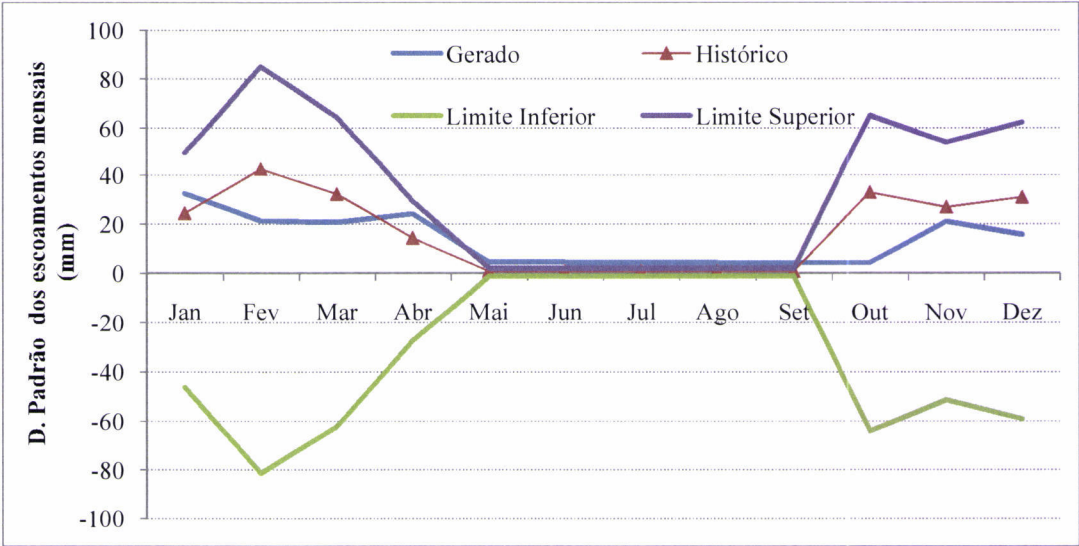


Figura 46 – Comparação dos desvios padrão das séries existentes resultantes de HC.adhfa dos escoamentos mensais nas quatro albufeiras e das séries de escoamentos mensais geradas em Odelouca.

5.5.2. Comparação entre os escoamentos anuais gerados e os obtidos com as séries

HC.adhfa

Para ilustrar a mais-valia que a geração de séries poderá trazer a nível de amortização dos possíveis erros e desvios existentes nas séries climáticas geradas pelos modelos climáticos, é apresentada nas figuras seguintes a comparação entre o escoamento acumulado em 31 anos determinado com base nas séries de temperatura e precipitação do acrónimo HC.adhfa e as 50 séries de 31 anos geradas pelo Método baseado na distribuição Normal, como exposto anteriormente.

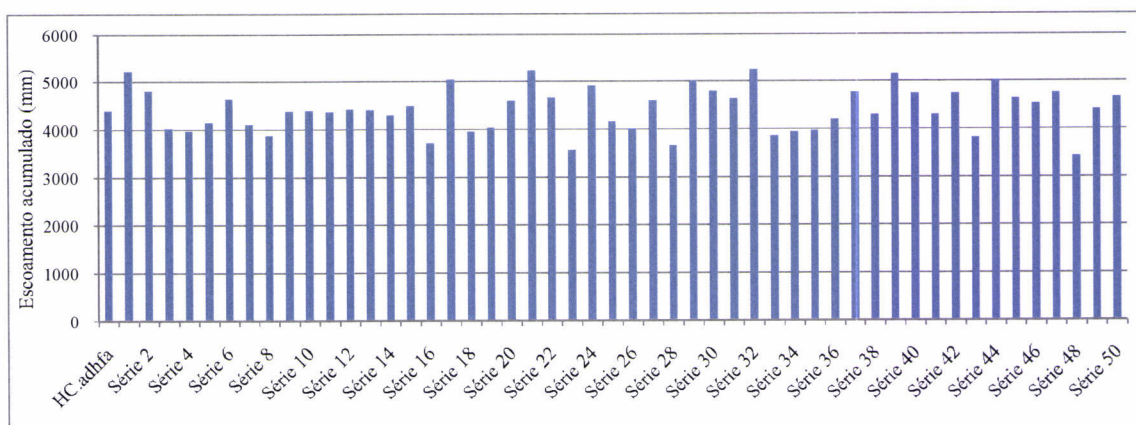


Figura 47 – Comparação entre a série de escoamento futura e as séries geradas para Bravura.

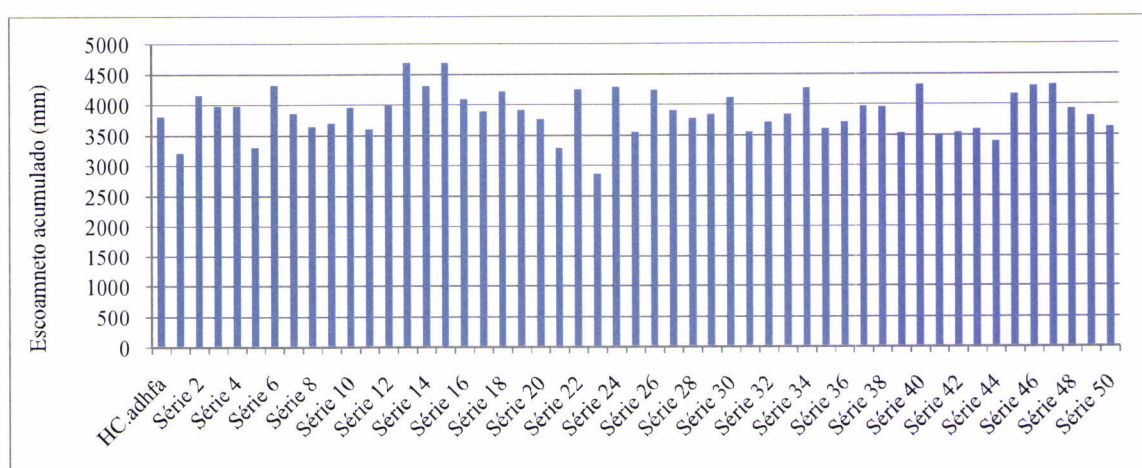


Figura 48 - Comparação entre a série de escoamento futura e as séries geradas para Funcho.

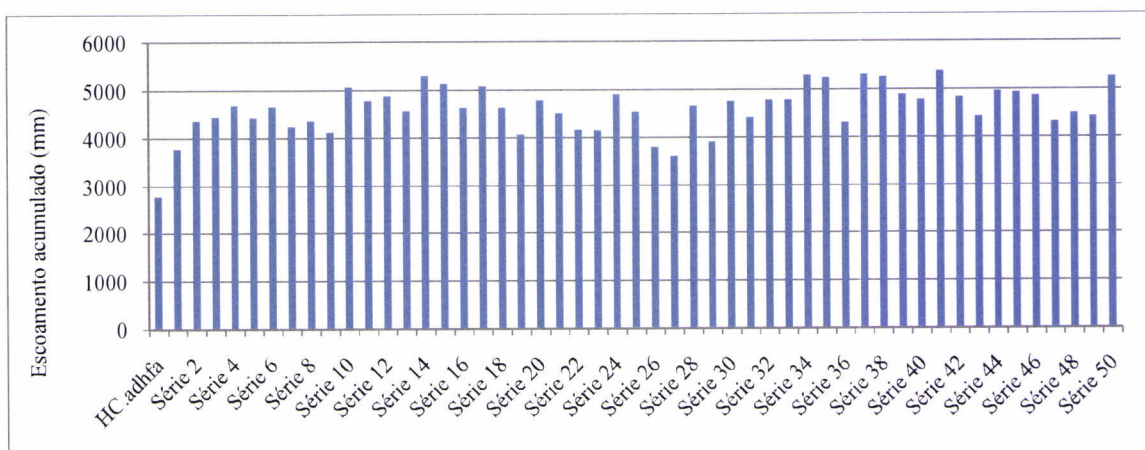


Figura 49 - Comparação entre a série de escoamento futura e as séries geradas para Odeleite.

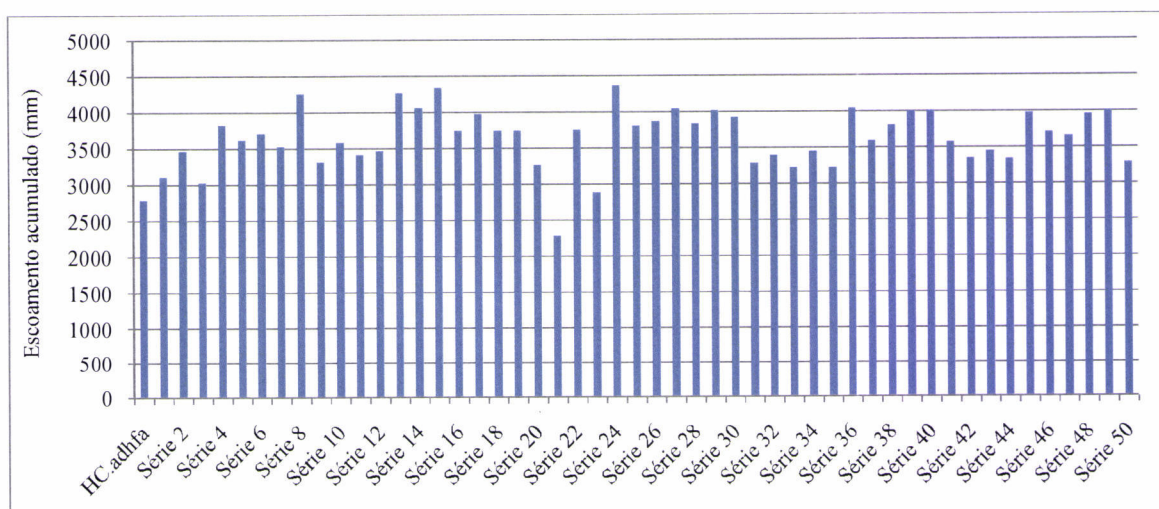


Figura 50 - Comparação entre a série de escoamento futura e as séries geradas para Odelouca.

Ao analisar-se os gráficos anteriores observa-se que na sua maior parte as séries geradas apresentam um valor de escoamento acumulado para os 31 anos, superior à série de escoamento futura, isso é um bom indicador de que a geração de séries pode ajudar a minimizar as incertezas associadas aos modelos climáticos.

Depois de gerados os conjuntos de 50 séries de escoamentos para as secções de referências das 4 albufeiras, passaria-se agora à determinação de novos volumes de armazenamento.

Mas isso será algo a ser desenvolvido em futuros trabalhos, devido ao grande volume de séries a trabalhar. Esses novos dados sobre o futuro armazenamento de água nas albufeiras, permitirá obter um maior leque de informação para adaptação às alterações na disponibilidade de recursos hídricos, e criar possíveis cenários futuros de gestão e operação no sistema multimunicipal.

5.6. Estimativa do Aumento do Consumo de Água no SMAAA com o Aumento da Temperatura no Futuro

Neste capítulo efectuou-se uma análise do aumento do caudal fornecido pelo SMAAA em função do aumento da temperatura média do ar na região.

Para tal fez-se o levantamento das estações meteorológicas que apresentassem séries de temperatura mais completas, das quais se identificou as apresentadas no Quadro 33.

Quadro 33 – Estações meteorológicas utilizadas para o cálculo das temperaturas médias do ar nos municípios abastecidos pelo SMAAA.

<i>Designação da Estação Meteorológica</i>
Algoz (31H/02C)
Barragem do Arade (30G/03C)
Lagos (31E/01UC)
Martinlongo (29K/01C)
Monchique (30F/01C)
Picota (30K/02C)
São Brás Alportel (31J/01C)
Vidígal (30F/05C)

Após seleccionadas as estações meteorológicas, passou-se ao traçado dos polígonos de Thiessen, conforme se mostra na figura seguinte.

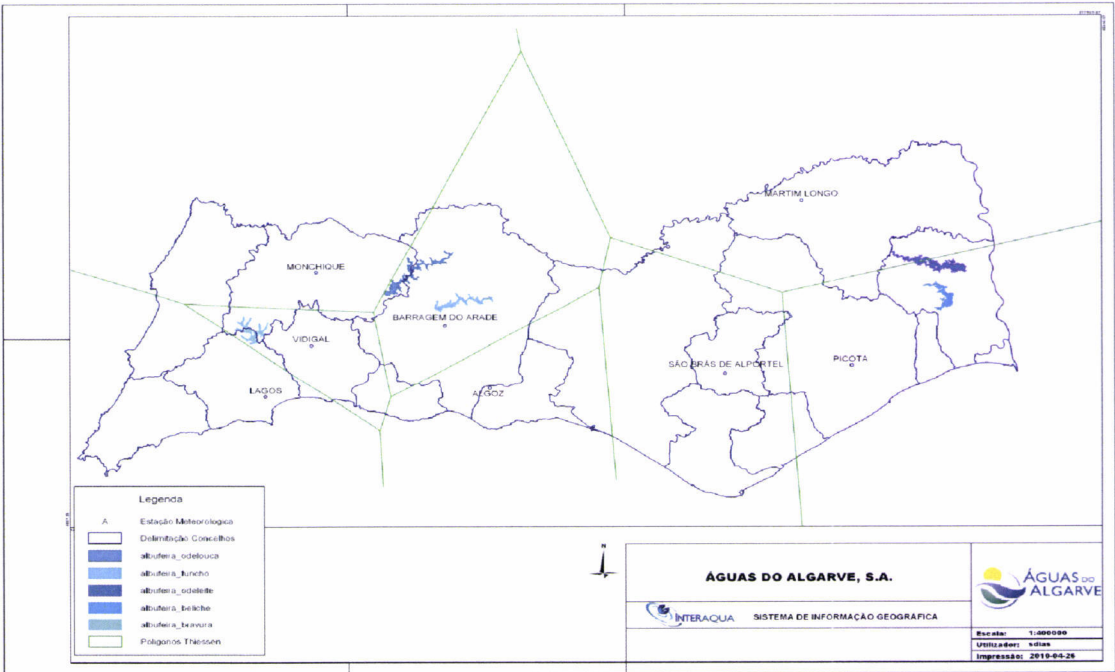


Figura 51 – Traçado dos polígonos de Thiessen para as estações meteorológicas.

O objectivo era determinar a temperatura média em cada um dos quinze municípios abastecidos pelo SMAAA. Do traçado dos polígonos resultaram os coeficientes de Thiessen, para cada um dos municípios, que se apresentam no Quadro 34.

Quadro 34 – Coeficientes de Thiessen utilizados no cálculo da temperatura média em cada município.

Município	Ponderadores
Albufeira	1,0 Algoz
Alcoutim	0,05 Picota + 0,95 Martinlongo
Aljezur	0,35 Lagos + 0,04 Vidigal + 0,61 Monchique
Castro Marim	0,80 Picota + 0,20 Martinlongo
Faro	1,0 S. Brás de Alportel
Lagoa	0,37 Vidigal + 0,13 B. do Arade + 0,51 Algoz
Lagos	0,92 Lagos + 0,08 Vidigal
Loulé	0,07 B. do Arade + 0,22 Algoz + 0,61 S. Brás + 0,10 Martinlongo
Olhão	0,75 S. Brás de Alportel + 0,25 Picota
Portimão	0,05 Lagos + 0,93 Vidigal + 0,01 Monchique
S. Brás de Alportel	1,0 S. Brás de Alportel
Silves	0,03 Vidigal + 0,01 Monchique + 0,79 B. do Arade + 0,16 Algoz
Tavira	0,14 S. Brás de Alportel + 0,67 Picota + 0,19 Martinlongo
Vila do Bispo	1,0 Lagos
Vila Real Sto. António	1,0 Picota

Com os dados de temperatura ponderada para cada município apresentados na Figura 52, e que podem ser consultados em tabela no Anexo 5, para os anos 2006 a 2008, e os caudais fornecidos em cada município pelo SMAAA nesses mesmos anos (optou-se por escolher este período 2006-2008, porque foi a altura em que o SMAAA se encontrava mais consolidado em termos de número de reservatórios municipais abastecidos, o ano de 2009 foi excluído por não existirem registos de temperatura nas estações meteorológicas em causa), efectuou-se uma regressão que permitiu determinar um possível valor futuro num ano médio para o consumo de água no SMAAA.

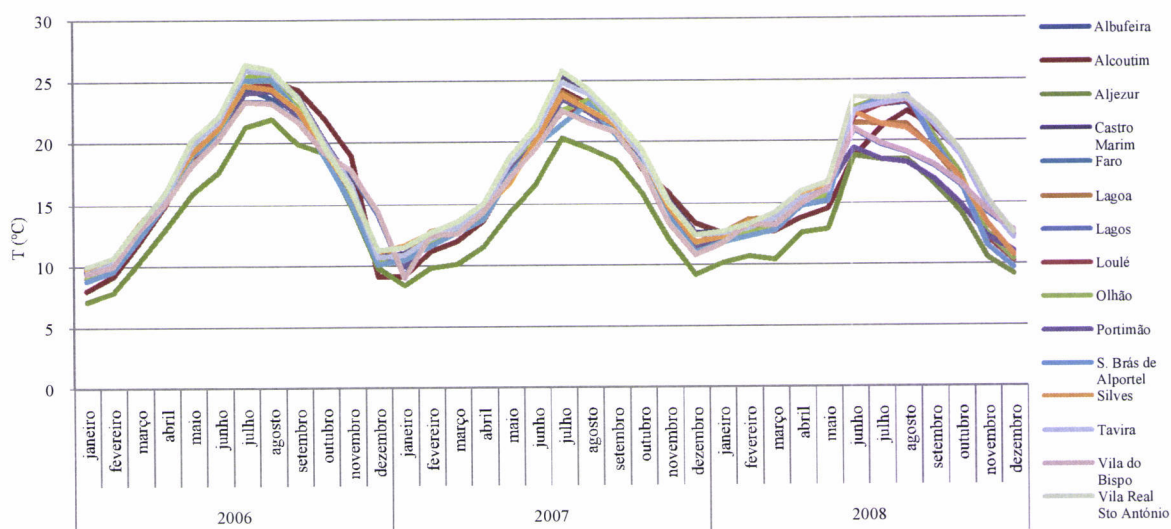


Figura 52 – Temperatura ponderada nos 15 municípios abastecidos pelo SMAAA.

Uma vez que existe a correspondência apresentada no quadro seguinte, entre as estações meteorológicas utilizadas para determinar a temperatura ponderada e as células da malha dos RCM, foi possível efectuar a correcção de viés da temperatura usando a temperatura média mensal registada nessas mesmas estações entre os anos 1961 e 1990 e as séries resultantes dos RCM, para o período de controlo e para o período de cenário.

Quadro 35 – Correspondência entre as estações meteorológicas da rede de monitorização e as células da malha dos RCM.

<i>Célula</i>	<i>53_15</i>	<i>53_15</i>	<i>53_15</i>	<i>54_15</i>	<i>54_15</i>	<i>55_15</i>	<i>55_15</i>	<i>55_15</i>
<i>Estação</i>	LAGOS	VIDIGAL	MONCHIQUE	ALGOZ	B. DO ARADE	MARTINLONGO	PICOTA	S. B. ALPORTEL

Nos Quadros 36, 37 e 38 apresenta-se a temperatura média mensal do ar dos 30 anos (fim do século) resultante para cada uma das estações meteorológicas, e que foi utilizada no cálculo das projecções do consumo futuro no SMAAA.

Quadro 36 – Temperatura media do ar calculada a partir das séries DMI.ecscA2.

	<i>Temperatura média 2071-2100 (°C)</i>							
Mês	Estação							
	LAGOS	VIDIGAL	MONCHIQUE	ALGOZ	BARRAGEM DO ARADE	MARTIM LONGO	PICOTA	SÃO BRÁS DE ALPORTEL
Janeiro	12,7	14,2	11,1	13,7	14,7	11,6	14,4	12,9
Fevereiro	14,1	15,6	12,8	14,4	15,7	13,0	15,4	14,3
Março	16,2	16,8	14,4	18,2	17,5	15,3	17,1	16,7
Abril	18,2	18,3	14,3	17,9	18,8	16,5	18,8	17,7
Maiο	21,2	21,6	18,1	20,7	22,3	20,4	22,2	21,8
Junho	25,9	25,5	22,0	27,8	26,4	26,2	26,1	26,1
Julho	27,0	27,9	26,2	27,4	28,9	29,0	29,1	29,1
Agosto	27,2	28,4	25,7	28,4	29,0	28,8	29,2	29,5
Setembro	25,3	26,8	25,1	28,0	27,2	27,6	27,3	27,5
Outubro	22,1	22,6	19,6	22,3	22,9	21,4	22,9	22,3
Novembro	16,9	18,4	15,3	18,9	18,6	16,8	17,9	17,5
Dezembro	14,2	15,2	12,5	14,4	15,5	13,2	14,8	14,1
Media	20,1	20,9	18,1	21,0	21,5	20,0	21,3	20,8

Quadro 37 - Temperatura media do ar calculada a partir das séries HC.adfa.

	Temperatura média 2070-2100 (°C)							
Mês	Estação							
	LAGOS	VIDIGAL	MONCHIQUE	ALGOZ	BARRAGEM DO ARADE	MARTIM LONGO	PICOTA	SÃO BRÁS DE ALPORTEL
Janeiro	12,7	14,2	11,2	13,3	14,3	11,3	14,1	12,7
Fevereiro	13,8	15,2	12,5	13,7	15,0	12,5	14,7	13,7
Março	15,9	16,5	14,2	17,5	16,9	14,8	16,6	16,1
Abril	17,6	17,7	13,8	16,9	17,8	15,8	17,9	16,8
Maiο	20,3	20,6	17,3	19,3	20,8	19,3	21,1	20,7
Junho	24,9	24,6	21,2	26,1	24,8	25,1	25,1	25,1
Julho	26,6	27,5	25,8	26,8	28,2	28,4	28,5	28,5
Agosto	25,5	26,6	24,1	26,7	27,3	27,1	27,5	27,8
Setembro	23,1	24,5	22,9	25,7	24,9	25,2	25,0	25,1
Outubro	21,3	21,8	18,9	21,2	21,8	20,3	21,7	21,1
Novembro	16,0	17,5	14,5	17,4	17,2	15,7	16,6	16,3
Dezembro	13,9	14,9	12,2	13,7	14,8	12,6	14,1	13,5
Media	19,3	20,1	17,4	19,9	20,3	19,0	20,2	19,8

Quadro 38 - Temperatura media do ar calculada a partir das séries SMHI.MPIA2.

	Temperatura média 2071-2100 (°C)							
Mês	Estação							
	LAGOS	VIDIGAL	MONCHIQUE	ALGOZ	BARRAGEM DO ARADE	MARTIM LONGO	PICOTA	SÃO BRÁS DE ALPORTEL
Janeiro	12,9	14,5	11,4	13,8	14,9	11,8	14,7	13,2
Fevereiro	14,5	15,9	13,1	14,7	16,0	13,4	15,9	14,7
Março	16,7	17,3	14,8	18,6	18,0	15,7	17,7	17,2
Abril	18,8	18,9	14,8	18,4	19,3	17,1	19,5	18,3
Maiο	21,9	22,3	18,7	21,2	22,8	21,0	22,9	22,5
Junho	26,5	26,2	22,6	28,2	26,8	26,9	26,8	26,8
Julho	27,4	28,3	26,5	28,0	29,4	29,6	29,8	29,7
Agosto	27,2	28,4	25,7	28,6	29,3	29,3	29,7	30,0
Setembro	25,5	27,0	25,3	28,5	27,7	28,1	27,8	28,0
Outubro	22,7	23,2	20,1	23,1	23,8	22,2	23,7	23,1
Novembro	17,1	18,7	15,5	19,1	18,8	17,1	18,1	17,8
Dezembro	14,5	15,6	12,8	14,6	15,8	13,5	15,1	14,5
Media	20,5	21,4	18,4	21,4	21,9	20,5	21,8	21,3

Se compararmos os valores de temperatura média anual obtida através das séries climáticas futuras com a registada no período entre 1961 a 1990, apresentada no Quadro 12, constatamos que existe uma diferença média de mais 3 a 6 °C (a temperatura média entre 1961-1990 é de 15,0 °C).

No Quadro 39, apresentam-se as temperaturas ponderadas futuras para cada município determinadas com base nos ponderadores do Quadro 34 e as temperaturas do Quadro 36.

Quadro 39 – Temperaturas ponderadas futuras para cada município algarvio, °C.

Município	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média
Albufeira	13,7	14,4	18,2	17,9	20,7	27,8	27,4	28,4	28,0	22,3	18,9	14,4	21,0
Alcoutim	11,7	13,1	15,3	16,6	20,5	26,2	29,0	28,8	27,6	21,5	16,9	13,3	20,0
Aljezur	11,8	13,4	15,1	15,8	19,3	23,5	26,6	26,3	25,2	20,6	16,0	13,2	18,9
Castro Marim	13,8	14,9	16,8	18,3	21,8	26,1	29,1	29,1	27,4	22,6	17,7	14,4	21,0
Faro	12,9	14,3	16,7	17,7	21,8	26,1	29,1	29,5	27,5	22,3	17,5	14,1	20,8
Lagoa	14,1	15,1	17,8	18,3	21,4	27,0	28,1	28,7	27,8	22,7	18,9	15,0	21,2
Lagos	12,8	14,3	16,2	18,2	21,3	25,9	27,1	27,3	25,4	22,1	17,0	14,2	20,2
Loulé	13,1	14,3	16,9	17,7	21,4	26,5	28,7	29,2	27,6	22,3	17,8	14,2	20,8
Olhão	13,3	14,5	16,8	18,0	21,9	26,1	29,1	29,4	27,5	22,5	17,6	14,3	20,9
Portimão	13,9	15,3	16,6	18,1	21,3	25,3	27,6	28,0	26,5	22,3	18,1	15,0	20,7
S. Brás de Alportel	12,9	14,3	16,7	17,7	21,8	26,1	29,1	29,5	27,5	22,3	17,5	14,1	20,8
Silves	14,3	15,3	17,4	18,4	21,7	26,3	28,3	28,6	27,0	22,5	18,5	15,2	21,1
Tavira	13,6	14,8	16,7	18,2	21,8	26,1	29,1	29,2	27,4	22,5	17,6	14,4	21,0
Vila do Bispo	12,7	14,1	16,2	18,2	21,2	25,9	27,0	27,2	25,3	22,1	16,9	14,2	20,1
V. R. S. António	14,4	15,4	17,1	18,8	22,2	26,1	29,1	29,2	27,3	22,9	17,9	14,8	21,3

Após os cálculos, efectuou-se uma regressão linear entre a temperatura ponderada dos anos 2006 a 2008 para cada município e o consumo registado em cada município nesses mesmos anos, obteve-se uma equação (Quadro 40) que permitiu calcular o consumo futuro em função da temperatura ponderada futura, as equações resultantes das regressões apresentam-se no quadro seguinte.

Quadro 40 – Equações utilizadas para determinar as projecções para o consumo de água no SMAAA.

<i>Município</i>	<i>Equação do gráfico</i>	<i>Coefficiente de correlação (R^2)</i>
Albufeira	$C = 71979T - 314485$	0,8119
Alcoutim	$C = 730,8T + 1952,7$	0,8273
Aljezur	$C = 6240,9T - 9215,4$	0,7648
Castro Marim	$C = 8342,4T - 24532$	0,7393
Faro	$C = 10291T + 326145$	0,8665
Lagoa	$C = 31580T - 82270$	0,8137
Lagos	$C = 31444T - 30151$	0,7223
Loulé	$C = 76479T - 203827$	0,8434
Olhão	$C = 11700T + 165596$	0,8611
Portimão	$C = 36909T - 32324$	0,7864
S. Brás de Alportel	$C = 3989,3T + 32971$	0,8011
Silves	$C = 34681T - 274286$	0,6755
Tavira	$C = 12701T + 25892$	0,7928
Vila do Bispo	$C = 7003,9T - 35537$	0,7354
V. R. S. António	$C = 12074T + 39175$	0,8015

Nota: C – consumo em m³; T – temperatura em °C.

Muitas das regressões apresentam ordenada na origem negativa, isso deve-se essencialmente às grandes diferenças entre o volume fornecido aos municípios nos meses de época baixa e nos meses de época alta, que em algumas situações chega a uma vez e meia maior em época alta.

No final o resultado projectado do volume de água médio a fornecer pelo SMAAA em função do aumento da temperatura no período compreendido entre 2071 a 2100 foi de 84 010 620 m³/ano. Para ter-se uma ideia da evolução, o volume total fornecido pelo SMAAA no ano de 2009 foi de 71 015 537 m³ (Anexo 6).

O valor da capitação para o tempo presente e para o futuro, considerando a população actualmente servida pelo SMAAA em época alta (1 146 000 hab.) e a prevista no EVEF para o último ano da concessão em 2037, também em época alta (1 300 000 hab.), é de 167 L/hab/dia presentemente e para o futuro projecta-se uma capitação igual a 177 L/hab/dia.

O consumo seria de mais 13Mm³ de água por ano, cerca de 84 011 000 m³ (Anexo 7). A manter-se a capitação actual de 167 L/hab/dia, o volume médio de água a fornecer em 2037, para a população de 1 300 000, seria de 79 241 500 m³/ano.

Tanto num caso como noutro, o aumento é pouco significativo, mas tendo em conta as projeções determinadas para o armazenamento nas albufeiras existentes, que indicam que todas elas terão menos de 50% do volume útil actual, não existiria resposta para satisfazer as solicitações do SMAAA.

Sendo obvio que o homem no global, face aos efeitos que irá sentir devido ao fenómeno das AC, irá obrigatoriamente alterar os seus hábitos de consumo de água quando se confrontarem com a sua escassez. O ser humano sofrerá um processo de aprendizagem na forma como usa os recursos da Terra, nomeadamente o elemento água, como tal é muito possível que estes caudais possam nunca vir a verificar-se.

5.7. Medidas de Adaptação

Face aos elementos expostos em 5.4 e 5.6, conclui-se que os possíveis impactos das AC são, a diminuição da precipitação (em cerca de 100 mm/ano) acompanhada por um aumento da evapotranspiração potencial (média anual mais 50 mm), relacionada com o aumento da temperatura (mais 4°C em média, segundo os vários RCM), o que tenderá a provocar uma diminuição da disponibilidade hídrica anual, ocorrerá igualmente o possível aumento das necessidades hídricas da população, devido ao previsível aumento populacional e da temperatura média do ar.

Em seguida apresentam-se algumas medidas de adaptação a serem levadas a cabo na região algarvia e pela AdA, nomeadamente e não por ordem de monta:

1. Acções de sensibilização para o uso eficiente de água, nos usos doméstico, agrícola e industrial;
2. Gestão optimizada entre a utilização dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais disponíveis;
3. Reforçar as infra-estruturas físicas do SMAAA, quer a nível de tratamento da água, quer a nível de transporte de água;
4. Para esse efeito criar um plano de investimento a longo prazo para reforço das origens de água e das infra-estruturas do SMAAA;
5. Criar um novo plano de contingência com cenários que incluíam as novas solicitações projectadas para os consumos, e contemple a inclusão de novas origens de água;
6. Por último, estudar as diferentes hipóteses de origens de água alternativas para fazer face ao aumento do consumo e à diminuição dos recursos hídricos disponíveis.

6. CONCLUSÃO

6.1 Sumário e Recomendações

De acordo com as projecções efectuadas no presente estudo, o volume de água médio a fornecer pelo SMAAA em função do aumento da temperatura no período compreendido entre 2071 a 2100, foi de 84 010 620 m³/ano, o que representa um aumento de 18,3%, em relação ao volume total fornecido pelo SMAAA no ano de 2009.

Por outro lado as projecções determinadas para o armazenamento nas albufeiras existentes, indicam que todas elas terão em média menos de 50% do volume útil actual, pelo que não existiria resposta para satisfazer as solicitações do SMAAA.

As principais medidas de adaptação a serem levadas a cabo na região algarvia e pela AdA, passariam pelo reforço das infra-estruturas físicas do SMAAA, quer a nível de tratamento da água, quer a nível de transporte de água, passando também pela criação de novas origens de água (água do mar) e incremento da reutilização de águas residuais tratadas.

Estas medidas seriam acompanhadas de acções de sensibilização para o uso eficiente de água, nos usos doméstico, agrícola e industrial.

Sabe-se que tanto as emissões futuras de GEE, como os seus efeitos sobre o sistema climático, bem como as consequências que daí advêm para o ambiente e para a economia estão sujeitos a muitas incertezas.

Existem incertezas nos cenários de emissões climáticas, como os cenários climáticos resultam de simulações obtidas através de modelos do sistema climático global, obviamente simplificados, que não conseguem reproduzir a sua complexidade especialmente à escala regional e à escala local (Santos, 2001).

Embora tendo em conta essas incertezas associadas aos resultados obtidos pelos modelos climáticos, existem tendências claras do aumento da temperatura e da diminuição da

precipitação, como se mostra no subcapítulo 5.1. Sendo assim, é obvio que futuramente poderá existir com elevada probabilidade uma diminuição na disponibilidade de água, com a consequente diminuição do escoamento superficial, diminuição da recarga dos aquíferos provocando um rebaixamento nos níveis freáticos e possíveis problemas na qualidade da água, devido ao aumento da temperatura e ao aumento da contaminação salina derivada ao possível avanço da cunha salina em aquíferos costeiros.

Perante este eventual cenário de indisponibilidade nas origens de água superficial e subterrânea do SMAAA, e colocando-se a fortuita impossibilidade de activar a totalidade das captações subterrâneas municipais, consideradas estratégicas para reforço do abastecimento de água à região no PC, fica claro que os cenários de emergência traçados no plano poderão deixar de ter efeito a longo prazo, sendo necessário desenvolver um novo PC, presumivelmente incluindo outras origens de água não previstas actualmente. Apesar do aumento projectado no consumo de água ser pouco significativo e das séries de escoamento geradas apresentarem valores de escoamento acumulado, para os 31 anos, superiores às séries de escoamento projectadas, existe a possibilidade de escassez nos recursos hídricos disponíveis na região.

Assim, torna-se pertinente admitir que a região algarvia num período a longo prazo, obviamente após renegociação do actual CC, que tem duração até 2037, deva considerar medidas de adaptação e a possibilidade de ser abastecida por outras origens de água, como por exemplo água do mar tratada, e que para tal poderá ser necessária a instalação de estações dessalinizadoras, estações estas que também poderão servir para tratar água salobra proveniente de captações subterrâneas existentes. Esse facto poderá implicar uma alteração em grande escala na operação e/ou implantação actuais do SMAAA, podendo ser necessário

construir novas infraestruturas, fazendo novos investimentos, e por outro lado, ser provável abandonar outras.

Será necessáriaa curto-médio prazo considerar outras medidas de adaptação aos efeitos futuros do clima, melhorando a eficiência e reforçando os sistemas de adução e distribuição de água no que diz respeito às entidades da área do abastecimento de água para consumo humano, bem como criar campanhas de sensibilização para um uso eficiente da água, na agricultura fazer-se uma adaptação das culturas e do tipo de cultivo, efectuar melhorias nos sistemas de rega tornando-os mais eficientes e por último na indústria fazer uma maior reutilização da água utilizada nos processos, para os usos menos nobres bem como cumprir a obrigação de tratar todos os efluentes emitidos para o ambiente.

6.2 Perspectivas de Investigação Futura

Os sistemas de planeamento e gestão dos recursos hídricos em Portugal estão familiarizados em lidar com a incerteza e variabilidade do clima, pelo que estão potencialmente preparados para fazer face às alterações climáticas. As alterações climáticas irão seguramente influenciar a tendência e a variabilidade da disponibilidade e necessidades de água.

Em investigações futuras deverá analisar-se a resposta do SMAAA ao possível aumento de consumo de água, e sua implicação nas variações de pressão nas condutas adutoras, velocidade de escoamento e o aumento das solicitações às estações elevatórias com o consequente aumento no consumo de energia. Esta análise poderá ser efectuada utilizando o software EPANET 2.0, e no qual se encontram modeladas as condições actuais de operação de todo o SMAAA.

Outra possibilidade é determinar novos balanços hídricos das albufeiras em exploração pelo SMAAA, com as séries geradas no ponto 5.5, de forma a ter um maior leque de informação

para adaptação às alterações na disponibilidade de recursos hídricos, e criar possíveis cenários de gestão e operação no sistema multimunicipal.

BIBLIOGRAFIA

- ÁGUAS DO ALGARVE (2007) – Plano de Contingência para o Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água do Algarve Rev_3_15/05/2007, 38pp., Águas do Algarve S.A., Faro.
- Anderson, R.L. (1941) – *Distribution of the serial correlation coefficients*. Annals of Math. Statistics, 8 (1), 1-13.
- Box, G.E.P. e Jenkins, G.M. (1976) – *Time Series Analysis, Forecasting and Control*. Revised Edition, Holden-Day. San Francisco.
- Butt, Tanveer; McCarl, Bruce (2004) – *Climate Change Should We Mitigate?*, apresentação em PowerPoint, Texas A&M University, Estados Unidos da América.
- Clarke, R.T. (1973) – *Mathematical models in hydrology*. FAO Irrigation and Drainage Paper, 19.
- Cunha, L. V.; Ribeiro, Luís; Oliveira, R. P.; Nascimento, J. (2004) – *Mudança Climática em Portugal Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação* – Capítulo 3 (pp. 81pp), Projecto SIAM II, Gradiva, Lisboa (Portugal).
- Dessai, Suraje e Trigo, Ricardo (2001) – *A Ciência das Alterações Climáticas*, Revista Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia, n.º 71, (pp. 117-132), Lisboa (Portugal).
- Dias, S.; Alegre, H.; Lucas, H.; Almeida, M.C. ; Viriato, M. (2008) - *Análise dos Consumos de Água para Abastecimento Público no Algarve*, Relatório Final Global, relatório técnico da Fase 2, Relatórios LNEC, Lisboa.

Goodess, Clare (2008) – *Alterações Climáticas, Projecto Lucinda (Land Care in Desertification Affected Areas)*, série do fascículo B, n.º 7, projecto europeu.

Guimarães, R. Cabral (2005) – *Simulação no Dimensionamento e Gestão de Sistemas de Recursos Hídricos. Geração de Séries Sintéticas de Escoamento*. Tese apresentada à Universidade de Évora para obtenção do grau de Doutor em Engenharia dos Recursos Hídricos, Évora (Portugal).

HIDROPROJECTO (2005) – *Águas do Algarve, Níveis de Atendimento do Sistema de Abastecimento de Água (Nota Técnica)*, trabalho elaborado pela HIDROPROJECTO, Engenharia e Gestão. S.A. (Doc. n.º 01.NT-U.001 (1)), Lisboa (Portugal).

INAG (Instituto da Água, IP) (1995) – *Recursos Hídricos de Portugal Continental e sua Utilização (Volume I)*, Ministério do Ambiente e Recursos Naturais, Lisboa (Portugal).

INAG (Instituto da Água, IP) (2009) – *Adaptação às Alterações Climáticas em Portugal, Proposta de Estratégia Nacional – versão aprovada pela Comissão de Alterações Climáticas para consulta pública*, Lisboa (Portugal).

Instituto de Meteorologia, I. P. (2004) – *Caracterização Climática, Ano 2003*, publicação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior e Instituto de Meteorologia (Dep. Clim e Ambiente Atmosférico), Lisboa (Portugal).

Instituto de Meteorologia, I. P. (2005) – *Caracterização Climática, Ano 2004*, publicação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior e Instituto de Meteorologia (Dep. Clim e Ambiente Atmosférico), Lisboa (Portugal).

Instituto de Meteorologia, I. P. (2006) – *Caracterização Climática, Ano 2005*, publicação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior e Instituto de Meteorologia (Dep. Clim e Ambiente Atmosférico), Lisboa (Portugal).

Instituto de Meteorologia, I. P. (2007) – *Caracterização Climática, Ano 2006*, publicação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior e Instituto de Meteorologia (Dep. Clim e Ambiente Atmosférico), Lisboa (Portugal).

Instituto de Meteorologia, I. P. (2008) – *Caracterização Climática, Ano 2007*, publicação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior e Instituto de Meteorologia (Dep. Clim e Ambiente Atmosférico), Lisboa (Portugal).

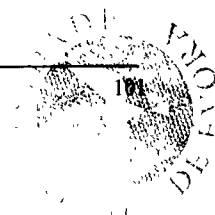
Instituto de Meteorologia, I. P. (2009) – *Caracterização Climática, Ano 2008*, publicação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior e Instituto de Meteorologia (Dep. Clim e Ambiente Atmosférico), Lisboa (Portugal).

Instituto de Meteorologia, I. P. (2010) – *Análise Climatológica da Década 2000-2009* – Relatório preliminar, publicação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior e Instituto de, Lisboa (Portugal).

Instituto de Meteorologia, I. P. (2010) – *Caracterização Climática, Ano 2009*, publicação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior e Instituto de Meteorologia (Dep. Clim e Ambiente Atmosférico), Lisboa (Portugal).

Loureiro, J.M. e Nunes, M.F. (1980) – *Monografia Hidrológica do Algarve*, Direcção – Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa (Portugal).

Matos, José Saldanha (2010) – *Adaptação às Alterações Climáticas - Serviços de Água*, apresentação em Sessão Técnica na AdP - 24 de Fevereiro de 2010, Lisboa (Portugal).



- McCarthy, J.; Canziani, O. F.; Leary, N. A.; J. Dokken, D.; White, K. S. (2001) – *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, publicado pelo press syndicate of the University of Cambridge, Cambridge (Reino Unido).
- Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território (2000) – *Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve*, 1ª Fase – Análise e Diagnóstico da Situação de Referência, Lisboa (Portugal).
- Monteiro, J.P. (2005) – *A Importância do Dimensionamento de Captações de Águas Subterrâneas no Algarve – passado, presente e futuro. Suplemento do Manual de Engenharias – Águas Subterrâneas*, Grundfos, 32pp., Lisboa (Portugal).
- Moreira, M. M. (2009) – *Modelos de Balanço Hidrológico*, apresentação PowerPoint ao Mestrado em Conservação e Recuperação das Águas Interiores, Évora (Portugal).
- Mourato, Sandra J. M. (2009) – *Modelação do Impacte das Alterações Climáticas e do Uso do Solo nas Bacias Hidrográficas do Alentejo*, dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, Universidade de Évora, Évora (Portugal).
- Pais, Rosário B. (2008) – *Livro Verde e estratégia da EU sobre Adaptação*, apresentação PowerPoint à conferência - Num Clima em Mudança, 23 de Junho, Estoril (Portugal).
- Pielke (1998) – *Rethinking the role of adaptation in climate policy*, Global Environment Change, Vol. 8 N.º2, 159-170 pp., Elsevier Science, Grã-Bretanha.

- Quintela, A. (1967) – *Recursos de Águas Superficiais em Portugal Continental*. Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Ribeiro, A.; Lucas, H.; Sousa, J.; Coelho, R.; Viriato, M.; Dias, S. (2007) – *Infrastructure Strategic Management in Contingency Situations*, Comunicação apresentada no 2nd Leading Edge Conference on Strategic Asset Management, Outubro de 2007, Lisboa (Portugal).
- Santos, F.D.; Forbes, K.; Moita, R. (2001) – *Mudança Climática em Portugal Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação* – Sumário Executivo e Conclusões, Projecto SIAM, Gradiva, Lisboa (Portugal).
- Santos, F.D.; Forbes, K.; Moita, R. (2002) – *Mudança Climática em Portugal Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação* *Climate Change in Portugal Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*, SIAM Projecto SIAM, Gradiva, Lisboa (Portugal).
- Svanidze, G.G.(1980) – *Mathematical Modeling of Hydrologic Series*. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado.
- Trac, N.Q. (coordenador) (1981) – *Evaluation des Ressources en Eaux des Systèmes Aquifères de L'Algarve*, Relatório Final (projecto PNUD/POR/77/015), Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, ONU / DGRAH, 112pp., Lisboa (Portugal).
- Universidade do Algarve; Imar (Universidade de Coimbra); Centro de Geo-Sistemas (Instituto Superior Técnico) (2009) – *Projecto OPTEXPLOR - Desenvolvimento de um instrumento para gestão de um sistema de abastecimento público de água numa perspectiva de exploração integrada dos recursos hídricos*, Relatório Final, acordo

específico de cooperação entre a empresa Águas do Algarve e a Universidade do Algarve, Faro (Portugal).

<http://www.climate.org/topics/water.html> consultado em 22 Abril, 2008.

<http://www.sergio.cortizo.nom.br/sistema.html> consultado em 8 Maio, 2008.

<http://snirh.pt/> consultado em 8 Fevereiro, 2009.

<http://www.meteo.pt/pt/> consultado em 2 Março, 2009.

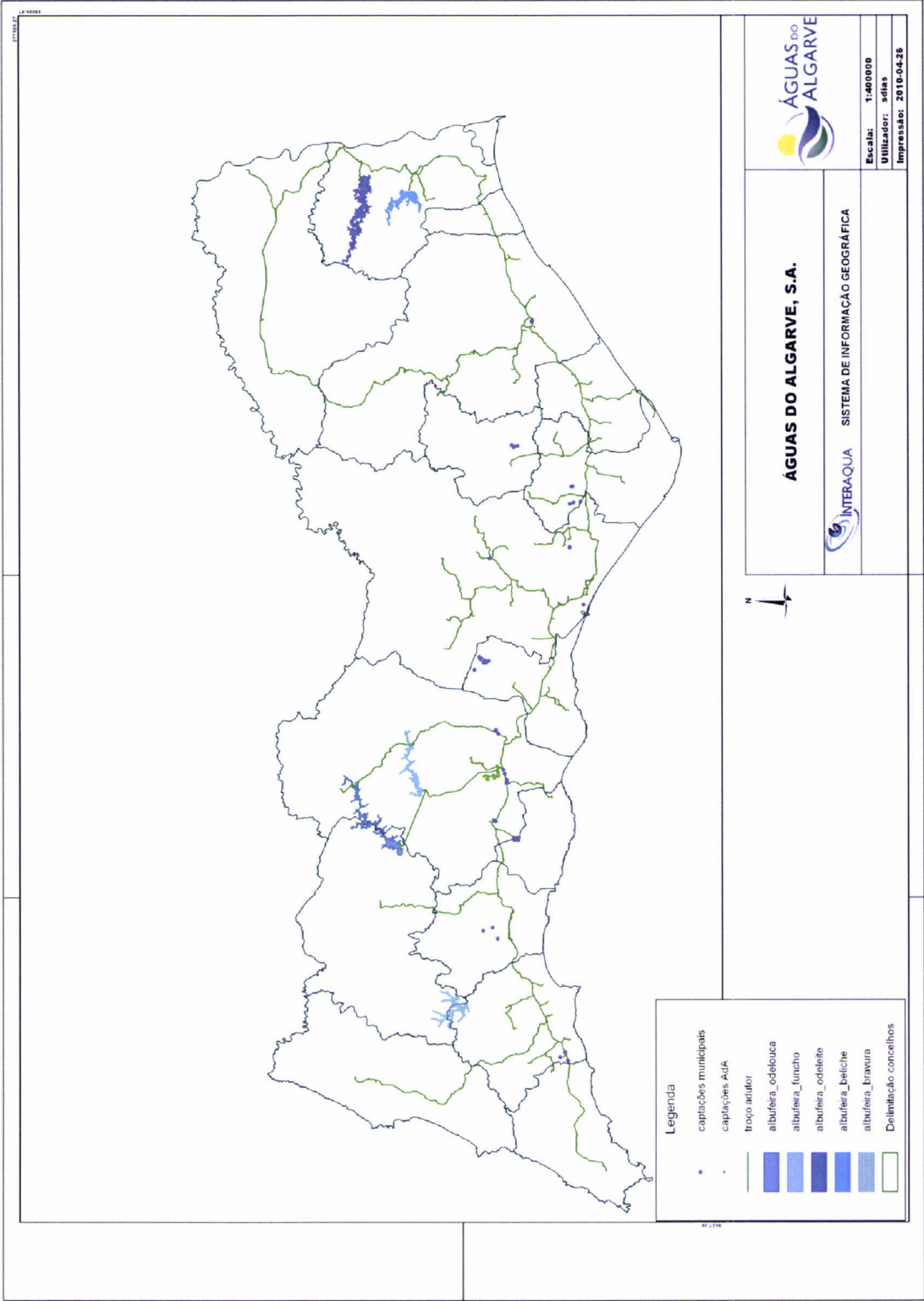
<http://gerotempo.blogspot.com/2006/12/secas-severas-em-portugal.html> consultado em 2 Março 2009.

ANEXOS

ANEXO 1 - Captações subterrâneas municipais consideradas estratégicas para reforço do SMAAA no âmbito do Plano de Contingência

Concelho	Captações a integrar		Concelho	Captações a integrar		
	Designação	Caudal captado (L/s)		Designação	Caudal captado (L/s)	
Albufeira	AC2	56	Tavira	TV4	22	
	AC3	18		TV5	25	
	FD1	11		JCS3	40	
	FD3	43		JCS5	20	
	FD4	4		JCS2	14	
	FD5	33		JCS6	19	
	FD6	39			140	
	JCS18	11				
		215				
Lagoa	JCS12	36	Olhão	JCS2	36.0	
	JCS18	29		FP1	7.5	
	JCS22	36		FP2	7.5	
	JK12	50		JCS3	22.0	
	JK13	36		JK11	17.5	
		187		JK12	17.5	
Lagos	FD3	25			108	
	JK8	60		Faro	JK11	80
	LF11	25	JCS6		22	
		110	JCS7		15	
			117			
Portimão	JCS1	25	Loulé	F1	35	
	JCS8	28		F2	35	
	JCS9	33			70	
		86				
Silves	JK3	41	S.Brás de Alportel	Campina I	25	
	JK4	78		Campina II	14	
	JKS6	50		SB2 – Fina	30	
	Ferrarias I	20		JK5	16	
	Ferrarias II	39			85	
	Poço Frito I	23				
	Poço Frito II	15				
	Monte Joia - JK2	40				
	Monte Joia - Novo furo	40				
		346				
Total Barlavento		993	Total Sotavento		520	
			Total Algarve			1 513

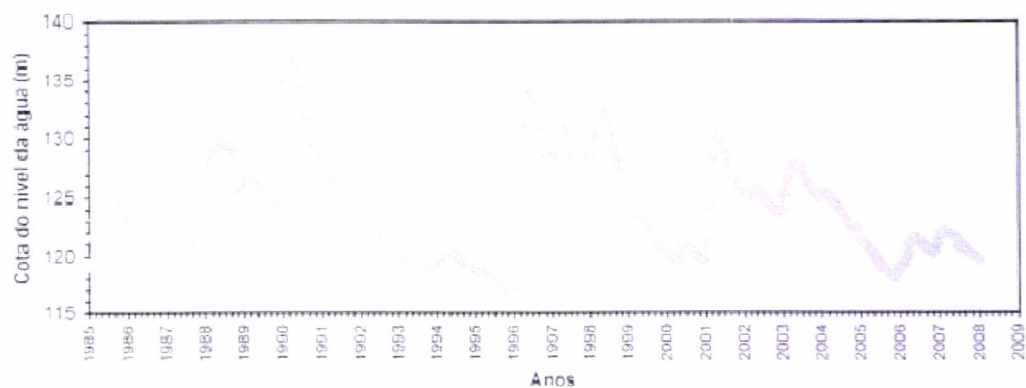
Anexo 2 – Implantação das Captações Municipais Estratégicas e Origens da AdA



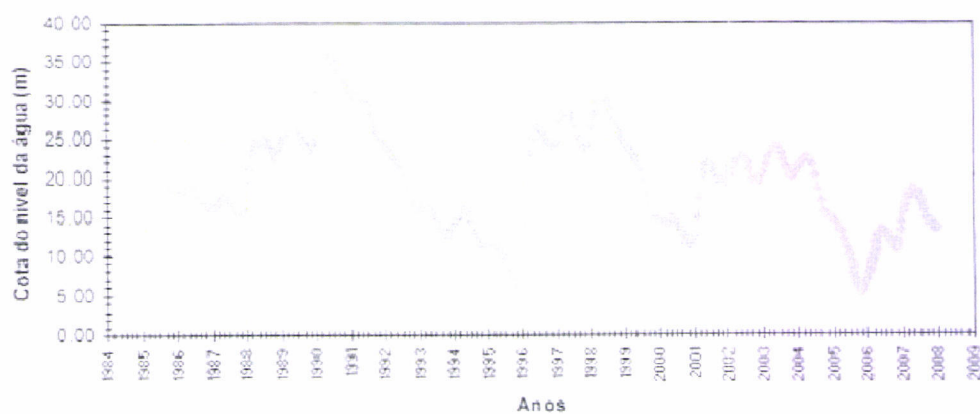
ANEXO 3 – Plano de Monitorização do Sistema Aquífero de Querença - Silves

Evolução dos níveis piezométricos no sistema aquífero Querença – Silves

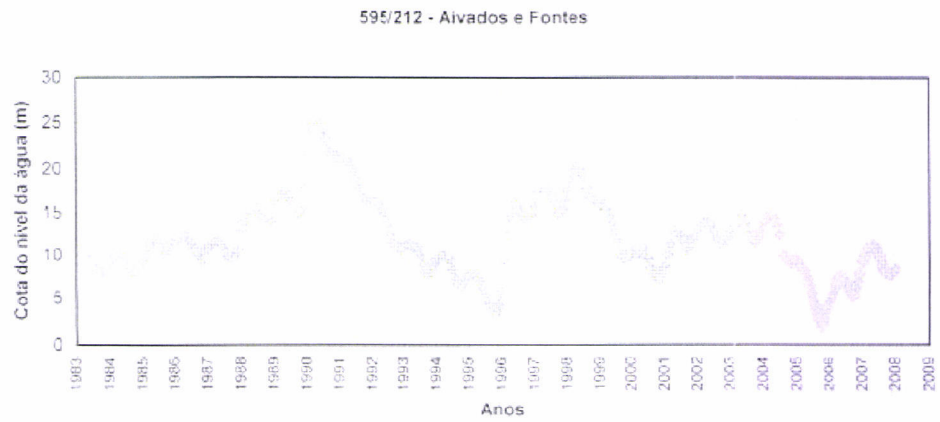
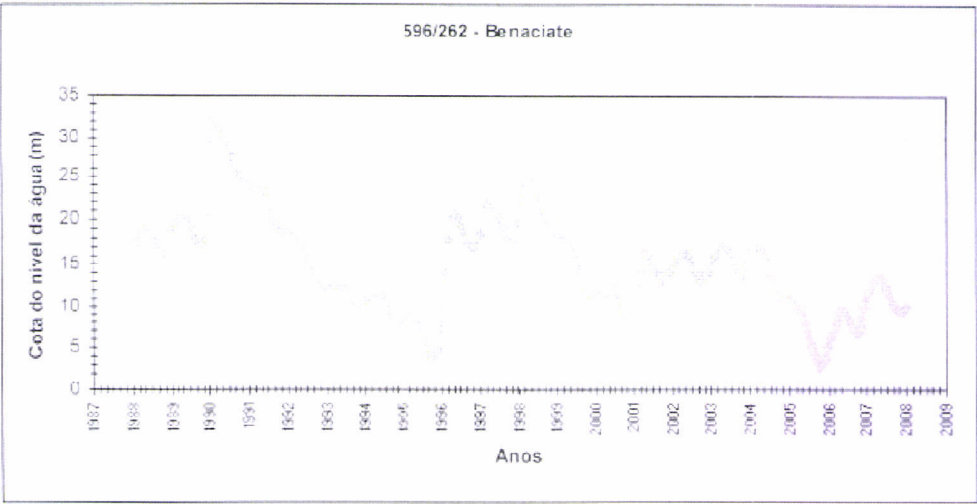
597/96 - Monte Sobreirinha



596/259 - Foral

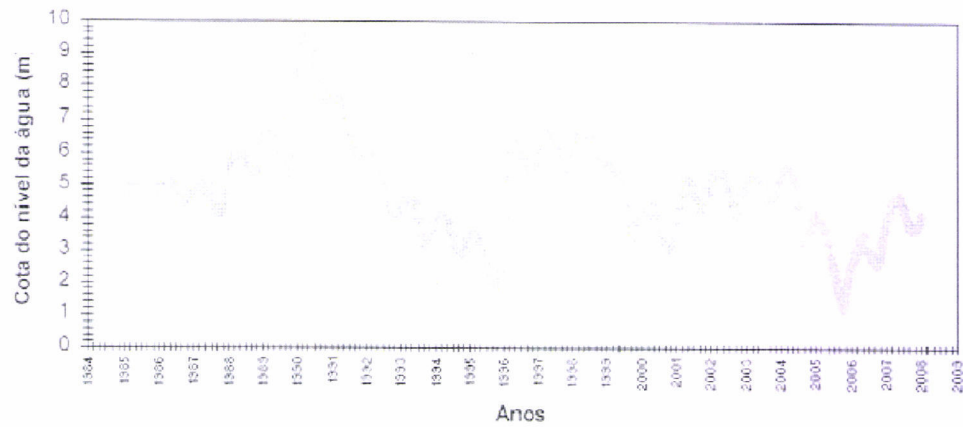


Fonte: CCDR-A

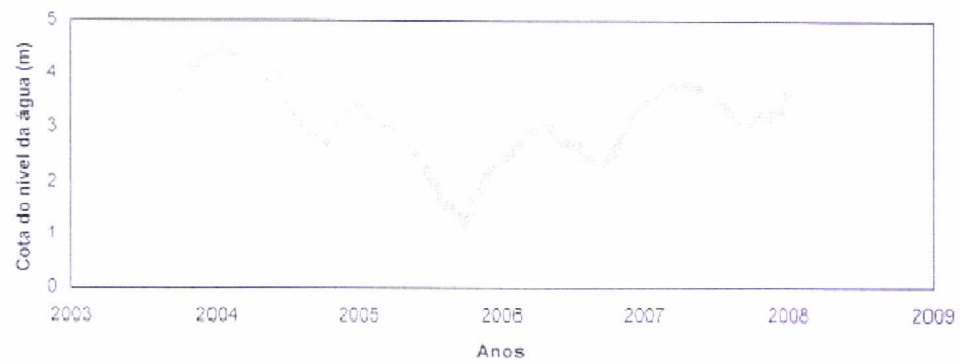


Fonte: CCDR-A

595/215 - Canal de Silves



595/309 - Monte Branco



Fonte: CCDR-A

ANEXO 5 – Temperaturas ponderadas nos municípios abastecidos pelo SMAAA (°C)

2006	Albufeira	Alcoutim	Aljezur	Castro Marim	Faro	Lagoa	Lagos	Loulé	Olhão	Portimão	S. Brás de Alportel	Silves	Tavira	Vila do Bispo	Vila Real São António
	9,7	8,0	7,1	9,6	8,8	10,0	9,5	9,0	9,1	9,9	8,8	9,8	9,4	9,4	10,0
	10,5	9,2	7,8	10,4	9,6	10,7	10,0	9,8	9,9	10,4	9,6	10,6	10,2	10,0	10,7
	13,3	12,0	10,4	13,1	12,3	13,0	13,0	12,6	12,6	13,1	12,3	13,4	13,0	13,0	13,4
	15,7	15,1	13,1	15,9	15,2	16,0	15,2	15,4	15,4	15,6	15,2	16,0	15,8	15,2	16,1
	18,5	19,1	16,0	20,0	19,0	18,8	18,2	18,9	19,3	18,2	19,0	19,2	19,9	18,2	20,3
	21,2	21,2	17,6	21,9	20,7	21,4	20,4	20,9	21,1	20,7	20,7	21,2	21,7	20,3	22,1
	24,6	25,1	21,3	26,1	25,1	24,8	23,4	25,0	25,4	24,1	25,1	24,4	26,0	23,3	26,4
	23,6	25,1	21,9	25,8	25,2	24,4	23,3	24,8	25,4	24,2	25,2	24,4	25,7	23,2	26,0
	22,6	24,4	19,9	23,8	22,6	22,8	21,8	22,8	22,9	22,2	22,6	22,6	23,7	21,7	23,7
	19,5	21,9	19,2	20,2	18,9	19,7	19,2	19,4	19,1	19,4	18,9	19,4	20,0	19,2	19,7
2007	16,3	19,0	14,9	16,8	15,1	16,5	17,6	15,9	15,4	16,2	15,1	16,2	16,6	17,8	16,2
	10,8	9,1	9,8	10,8	10,1	11,1	14,2	10,2	10,4	11,2	10,1	11,1	10,7	14,5	11,3
	10,6	9,1	8,4	11,0	10,5	10,7	9,1	10,5	10,8	9,9	10,5	11,7	10,9	9,0	11,5
	12,7	11,2	9,8	12,4	11,6	12,8	12,5	11,9	11,9	12,4	11,6	12,7	12,2	12,5	12,7
	13,0	12,0	10,1	13,3	12,7	13,3	12,6	12,7	12,9	13,0	12,7	13,3	13,2	12,6	13,6
	14,7	13,7	11,5	14,8	13,8	14,8	14,4	14,1	14,1	14,4	13,8	14,7	14,6	14,4	15,1
	17,4	17,4	14,3	18,5	17,3	17,7	17,2	17,3	17,7	17,6	17,3	16,7	18,3	17,1	18,8
	20,1	20,4	16,7	21,1	19,7	20,4	19,6	19,9	20,1	19,9	19,7	20,2	20,9	19,5	21,3
	23,7	24,3	20,3	25,5	21,4	24,0	22,6	22,4	22,5	23,4	21,4	23,8	24,9	22,5	25,8
	22,5	23,1	19,5	24,0	23,1	22,9	21,6	22,9	23,4	22,4	23,1	22,6	23,9	21,5	24,3
	21,3	21,1	18,5	21,8	20,6	21,5	20,8	20,9	21,0	20,8	20,6	21,4	21,6	20,8	22,0
	18,5	17,8	15,9	19,1	18,1	18,9	18,0	18,2	18,4	18,5	18,1	18,9	18,9	17,9	19,4
2008	14,5	15,9	12,0	15,3	14,1	14,7	13,5	14,4	14,4	14,2	14,1	14,7	15,1	13,4	15,1
	11,6	13,4	9,2	12,6	11,0	11,7	10,9	11,5	11,4	11,3	11,0	11,8	12,4	10,8	12,4
	12,6	12,6	10,1	12,7	11,8	12,6	11,7	12,1	12,0	12,1	11,8	12,3	12,6	11,7	12,7
	13,5	12,5	10,7	13,1	12,3	13,7	13,3	12,7	12,6	13,4	12,3	13,5	13,0	13,3	13,3
	13,6	12,7	10,4	14,0	12,8	13,8	13,2	13,0	13,2	13,5	12,8	13,7	13,8	13,2	14,3
	15,7	13,8	12,6	15,5	14,8	15,9	15,1	15,0	15,1	15,5	14,8	15,7	15,4	15,0	16,0
	16,4	14,6	12,9	16,3	15,2	16,6	16,2	15,5	15,6	16,2	15,2	16,3	16,1	16,2	16,7
	22,0	18,7	18,8	22,6	22,4	21,4	20,9	21,9	22,7	19,5	22,4	22,3	22,4	21,0	23,6
	22,9	21,0	18,5	23,0	23,4	21,4	19,7	22,9	23,4	18,5	23,4	21,3	23,0	19,8	23,5
	23,1	22,4	18,5	23,3	23,7	21,3	19,0	23,2	23,7	18,2	23,7	21,0	23,4	19,1	23,6
	20,4	21,1	16,6	21,6	19,9	19,2	18,0	20,1	20,4	16,9	19,9	19,3	21,4	18,1	21,8
	17,3	18,9	14,3	19,2	16,7	16,6	16,4	17,1	17,3	14,9	16,7	17,0	18,8	16,5	19,2
	12,0	15,2	10,5	15,3	11,5	12,5	14,3	12,1	12,5	12,2	11,5	13,3	14,8	14,4	15,4
	10,8	12,5	9,2	12,5	9,7	11,0	12,6	10,3	10,4	11,0	9,7	10,7	12,1	12,8	12,5

ANEXO 6 – Volumes de água abastecidos pelo SMAAA no ano de 2009 (m³)

Município	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Albufeira	517340.0	522670.0	699450.0	949940.0	979030.0	1207520.0	1617650.0	1596940.0	1220060.0	903480.0	687920.0	620880.0
Alcoutim	11941.0	12868.0	14896.0	15260.0	13982.0	19052.0	22343.0	20425.0	18872.0	17846.0	16014.0	14562.0
Aljezur	47598.0	51497.0	67255.0	78480.0	81940.0	100840.0	146310.0	128180.0	89420.0	69680.0	54810.0	53940.0
Castro Marim	69072.0	73076.0	93892.0	116128.0	113737.0	165175.0	284264.0	287554.0	223085.0	147450.0	99400.0	91054.0
Faro	420018.0	384264.0	446067.0	455006.0	513700.0	544015.0	647856.0	573505.0	545672.0	527733.0	459809.0	405234.0
Lagoa	267430.0	258750.0	331310.0	434590.0	454470.0	537660.0	769870.0	728660.0	588620.0	448270.0	374210.0	297470.0
Lagos	322400.0	303830.0	374080.0	481900.0	483040.0	600040.0	782320.0	763640.0	617030.0	484380.0	380300.0	336170.0
Loulé	548691.0	598618.0	871827.0	1108587.0	1141375.0	1408952.0	1915086.0	1821832.0	1407434.0	1079393.0	875699.0	707464.0
Olhão	304930.0	281431.0	329425.0	378919.0	361218.0	429814.0	518918.0	473567.0	436691.0	417573.0	362364.0	366833.0
Portimão	416000.0	398000.0	469000.0	585000.0	579000.0	723000.0	976000.0	978000.0	735000.0	577000.0	465000.0	457000.0
S. Brás de Alportel	74304.0	72682.0	90218.0	110207.0	104834.0	131446.0	149849.0	130825.0	111316.0	99481.0	85889.0	85852.0
Silves	363630.0	335548.0	366880.0	427860.0	409410.0	525960.0	662570.0	639830.0	475260.0	402770.0	348080.0	355640.0
Tavira	169626.0	168429.0	193057.0	235992.0	216097.0	274332.0	368476.0	367621.0	279294.0	236376.0	193076.0	162048.0
Vila do Bispo	45830.0	43480.0	57660.0	87640.0	88070.0	115990.0	147710.0	146560.0	115950.0	81760.0	74860.0	51090.0
Vila Real Sto. António	180962.0	194116.0	222679.0	270598.0	230385.0	298013.0	420116.0	435701.0	298960.0	256301.0	214849.0	208754.0
Acumulado (m³)	3 759 772	7 459 031	12 086 727	17 822 834	23 593 122	30 674 931	40 104 269	49 197 109	56 359 773	62 109 266	66 801 546	71 015 537

ANEXO 7 – Projecção dos volumes de água a ser abastecidos pelo SMAAA em função das séries de temperatura futura (m³)

Município	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Albufeira	670629.4	721485.4	994989.4	974008.2	1172580.5	1684604.3	1661332.3	1728560.1	1700872.4	1291934.4	1043712.8	719594.7
Alcoutim	10515.3	11562.1	13170.5	14118.4	16916.1	21092.8	23129.7	23010.1	22110.0	17661.0	14279.2	11654.9
Aljezur	64447.5	74194.6	85174.8	89589.3	111494.6	137588.7	156497.6	155089.1	148328.7	119133.4	90542.5	73050.6
Castro Marim	90627.2	99870.7	115375.8	128398.2	157637.3	193587.4	218024.7	218423.7	203789.5	163999.7	122774.9	95983.9
Faro	459024.7	472907.7	497613.6	508075.2	550360.5	595131.8	625195.6	629926.3	609388.3	556025.5	506708.6	471291.7
Lagoa	364199.7	395900.5	478920.4	496760.0	594232.4	771640.7	804984.9	825486.9	794101.9	634949.1	513584.2	390364.2
Lagos	372291.7	418124.0	480053.6	543323.0	638518.6	783372.6	822124.7	828068.3	769722.7	665614.1	503862.4	417910.5
Loulé	796120.8	887628.8	1090197.1	1149165.3	1435286.1	1824386.6	1989981.3	2026418.8	1908019.2	1500228.7	1160627.0	880019.6
Olhão	320905.9	335731.6	361967.4	375659.6	421715.2	471399.3	505713.3	510052.0	487000.9	428576.3	371825.4	332528.4
Portimão	481830.3	532298.8	579065.0	634009.5	754940.0	899981.0	986436.2	1001165.6	945252.5	790466.8	637199.4	519725.9
S. Brás de Alportel	84481.7	89863.5	99440.7	103496.1	119888.0	137243.6	148897.8	150731.6	142770.1	122084.0	102966.4	89237.0
Silves	223274.5	257663.6	329886.0	363870.5	478988.0	636627.2	707885.2	716602.6	663193.8	507289.8	365796.1	251334.6
Tavira	198995.5	213596.0	238270.2	257047.8	302736.0	357970.5	395118.0	396393.4	373843.1	312123.5	249721.6	208408.3
Vila do Bispo	53264.3	63523.9	77765.3	92175.2	113200.7	145876.4	153789.0	154968.9	141769.3	119167.9	82526.4	63694.2
Vila Real Sto. António	212566.2	224900.0	246238.6	265935.5	307212.3	354716.3	390541.8	391800.6	368937.9	315594.5	254918.3	217365.7
Acumulado (m ³)	4 403 175	9 202 426	14 890 554	20 886 186	28 061 892	37 077 111	46 666 764	56 423 462	65 702 562	73 247 410	79 268 456	84 010 620

